

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences
de la mer et de l'aménagement du littoral

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique
sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa et Skikda)**

Cas d'étude : Sidi Fredj

Présenté par:

- **AHFIR Yasmina**
- **MEZIANE Imane**

Soutenu le 26 /11/ 2016 devant le jury suivant :

Mr OTMANI H.	Maître assistant B (ENSSMAL)	Président
Mr MEZOUAR K.	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Promoteur
Mr KESSALI N.	Ingénieur (ONM)	Co-promoteur
Mr SOUKANE S.	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Examineur
Mme MEHDID S.	Maître assistante A (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2015-2016

« Lorsqu'un seul homme rêve, ce n'est qu'un rêve. Mais si beaucoup d'hommes rêvent ensemble, c'est le début d'une nouvelle réalité. »

Friedensreich Hundertwasser

« Fais bien, tu auras des envieux ; fais mieux, tu les confondras. »

Louis Joseph Mabire

Remerciements

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la patience d'achever ce mémoire et la capacité de le présenter devant vous en vue d'obtenir le titre d'ingénieur.

Nos premiers remerciements, et sans doute les plus vifs, s'adressent tout particulièrement à notre promoteur, Monsieur Khoudir MEZOUAR, pour l'intérêt incessant qu'il a porté au suivi de ce mémoire, en dépit de ses occupations et malgré la difficulté rencontrée tout le long de cette étude. Nous le remercions aussi d'avoir été compréhensif et patient, d'avoir été exigeant tout en nous accordant une grande autonomie et surtout, d'avoir partagé ses connaissances et sa passion avec nous, dès la troisième année. Son soutien constant, ses conseils et ses critiques, toujours très constructifs, nous ont énormément apporté. Nous le remercions encore de nous avoir fait confiance tout au long de ce mémoire et de nous avoir motivé à dépasser nos propres limites. Qu'il trouve dans ces mots l'expression indéniable de notre respect.

Notre reconnaissance va aussi à notre co-promoteur, Monsieur Nacer KESSALI, qui, malgré son emploi du temps plus que chargé, a pu trouver un moment pour nous aider et même de nous réserver un accueil très chaleureux dans son bureau à l'ONM.

Nous tenons aussi à remercier les personnes qui ont accepté de participer à ce jury de thèse :

- Madame Sonia MAHDID pour nous avoir fait l'honneur d'être examinatrice et de participer à ce jury de thèse.
- Nous exprimons tous nos remerciements à Monsieur SOUKANE Sofiane temps d'examiner ce travail.
- Nous adressons nos remerciements à Monsieur Housseyn OTMANI pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Par ailleurs, la réalisation d'une partie de ce mémoire a nécessité de passer sur le terrain. Nous tenons donc à remercier, Monsieur Abd El-K'rim MEZHOUD, qui nous a précieusement aidé en acceptant de nous accompagner lors de nos sorties d'échantillonnage dans la partie Ouest de la plage de Sidi Fredj, même quand les conditions météorologiques n'ont pas été au rendez-vous. Nous le remercions aussi pour sa promptitude à nous fournir des données.

A côté de ces sorties sur le terrain, il y a eu aussi toutes ces longues journées passées au sein du laboratoire ENSSMAL. A l'heure des remerciements, nous tenons à accorder une pensée à, Madame Chanez GUERAINI.

Nous adressons ensuite nos sincères remerciements à, Monsieur Mohamed ADJAL, pour son aide et pour les échanges scientifiques qui continueront nous l'espérons.

Enfin, c'est avec beaucoup de reconnaissance et d'affection que nous pensons à nos proches, à nos familles et à nos amies, sans les citer, elles se reconnaîtront. Nous remercions nos parents pour leur soutien au cours de ces longues années d'études et pour n'avoir jamais bridé notre passion. Qu'ils trouvent ici nos reconnaissances les plus distinguées et un petit fruit de leur sueur.

Merci à toutes et à tous !

Table des matières

Introduction.....	14
Chapitre I : Généralités sur les plages sableuses	
I.1.Generalité.....	17
I.2. La complexité du domaine littoral	17
I.3. Morphodynamique côtière : principes et concepts	18
I.5. Processus hydrodynamiques	20
I.5.1. La houle	20
I.5.2. Les courants	20
I.5.3. Courant de marée	21
I.6. Transport sédimentaire	22
Chapitre II : Présentation des zones d'étude	
Introduction	24
II.1. Présentation de la côte Algérienne	24
II.2. Présentation des zones d'étude	24
II.2.1. Situation géographique.....	24
II.2.1.1. Le golfe d'Oran.....	25
II.2.1.2. La baie de Bou-Ismaïl.....	25
II.2.1.3. La baie d'Alger.....	26
II.2.1.4. Le golfe de Bejaïa.....	27
II.2.1.5. Le golfe de Skikda.....	28
II.3. Caractéristiques géologiques et géomorphologiques.....	28
II.3.1. Contexte géologique.....	28
II.3.2. Contexte morphologique.....	29
II.4. Caractéristiques hydrologiques.....	32
II.5. Caractéristiques climatologiques.....	33
II.3.2. Les vents.....	33
II.3.2.1. golfe d'Oran.....	33
II.3.2.2. La baie de Bou-Ismaïl.....	34
II.3.2.3. La baie d'Alger.....	35
II.3.2.4. Le golfe de Bejaïa.....	35
II.3.2.5. Le golfe de Skikda.....	36
II.6. Caracterisques hydrodynamiques.....	37
7 II.6.1. La houle.....	37
II.6.1.1. golfe d'Oran.....	38
II.6.1.2. La baie de Bou-Ismaïl.....	38
II.6.1.3. La baie d'Alger.....	40

II.6.1.4. Le golfe de Bejaia.....	40
II.6.1.5. Le golfe de Skikda.....	42
II.6.2. Les courants.....	43
a. Les courants généraux.....	43
II.6.3. La Marée.....	43
Chapitre III : Etude bathymétrique et hydrodynamique des zones d'étude	
Introduction	45
III.1. Etude bathymétrique	45
III.1.1. Méthodologie suivi.....	46
III.1.1.1. Exploitation de la GEBCO sous MATLAB.....	46
III.1.1.2. Exploitation des cartes marines sous Mike 21.....	47
III.2. Etude hydrodynamique	50
III.3. Résultats.....	51
III.3.1. Golfe d'Oran.....	51
III.3.1.1. La partie Ouest du golfe d'oran (zone 1).....	52
III.3.2. La baie de Bou-Ismaïl.....	53
III.3.2.1. La partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (zone 1).....	54
III.3.2.2. La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (zone2).....	55
III.3.3. La baie d'Alger.....	57
III.3.3.1. La partie centre de la baie d'Alger (zone 1).....	58
III.3.3.2. La partie centre de la baie d'Alger (zone 2).....	59
III.3.3.3. La partie Est de la baie d'Alger (zone 3).....	60
III.3.3.4. La partie Est de la baie d'Alger (zone 4).....	62
III.3.4. La baie de Bejaia	64
III.3.4.1. La partie Ouest du golfe de Bejaia (zone 1).....	65
III.3.5. Le golfe de Skikda.....	66
III.3.5.1. La partie Ouest du golfe de Skikda (zone 1).....	67
III.3.5.2. La partie Centre du golfe de Skikda (zone 2).....	68
III.3.5.3. La partie Est du golfe de Skikda (zone 3).....	70
III.3.5.1. La partie Est du golfe de Skikda (zone 4).....	71
Chapitre IV : Application des SIG au suivi de l'évolution D'un trait de côte	
Introduction	75
IV.1. Evolution du trait de côte	75
IV.1.1. Erosion côtier et SIG.....	75
IV.1.2. Méthodes et techniques utilisées.....	76
IV.1.2.1. Les données disponibles.....	76

IV.1.2.2. Les logiciels utilisées.....	76
IV.1.2.2.1. Google earth pro.....	76
IV.1.2.2.2. ArcGIS 10.2.....	77
IV.1.2.3. Le choix de la ligne de référence.....	77
IV.1.2.4. Le choix de la ligne de base.....	78
IV.1.2.5. Méthodologie suivi.....	78
IV.1.2.5.1. Méthode de digitalisation	78
IV.1.2.5.2. Méthode de généralisation des transects.....	80
IV.1.2.5.3. Méthode pour cartographie l'évolution surfacique.....	82
IV.1.2.5.4. Précision des lignes extraites.....	83
IV.2. Résultats.....	83
IV.2.1. Le golfe d'Oran.....	83
IV.2.1.1. La partie Ouest du golfe d'Oran (Zone 1).....	84
A. les variations de la ligne de côte.....	84
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	86
IV.2.2. La baie de Bou-Ismaïl.....	89
IV.2.2.1. La partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1).....	89
A. les variations de la ligne de côte.....	89
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	92
IV.2.2.2. La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2).....	93
A. les variations de la ligne de côte.....	93
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	96
IV.2.3. La baie d'Alger.....	99
IV.2.3.1. La partie Centre de la baie d'Alger (Zone 1).....	99
A. les variations de la ligne de côte.....	99
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	102
IV.2.3.2. La partie Centre de la baie d'Alger (Zone 2).....	104
A. les variations de la ligne de côte.....	104
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	106
IV.2.3.3. La partie Est de la baie d'Alger (Zone 3).....	107
A. Les variations de la ligne de côte.....	107
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	110
IV.2.3.4. La partie Est de la baie d'Alger (Zone 4).....	111
A. Les variations de la ligne de côte.....	111
B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016.....	114
IV.2.4. Le golfe de Bejaïa.....	117

IV.2.4.1. La Partie Ouest du golfe de Bejaia (Zonne 1).....	117
A. les variations de la ligne de côte.....	117
B. Conclusion et étude surfacique enre 2004 et 2016.....	119
IV.2.5. Le golfe de Skikda.....	122
IV. 2.5.1. La partie Ouest du golfe de Skikda (Zonne 1).....	122
A. Les variations de la ligne de côte.....	122
B. Conclusion surfacique entre 2004 et 2016.....	125
IV. 2.5.2. La partie Centre du golfe de Skikda (Zonne 2).....	126
A. Les variations de la ligne de côte.....	126
B. Conclusion surfacique entre 2004 et 2016.....	129
IV. 2.5.3. La partie Est du golfe de Skikda (Zonne 3).....	132
A. Les variations de la ligne de côte.....	132
B. Conclusion surfacique entre 2004 et 2016.....	135
IV. 2.5.4. La partie Est du golfe de Skikda (Zonne 4).....	137
A. Les variations de la ligne de côte.....	137
Chapitre V: Etude granulo-sédimentaire(cas d'exemple: La plage Est de Sidi Fredj)	
Introduction.....	143
V.1. Prélèvement et échantillonnage.....	144
V.1.1. Site d'étude.....	144
V.1.2. Prélèvement dans la partie aérienne.....	144
V.1.3. Prélèvement dans la partie marine.....	145
V.2. Etude au laboratoire.....	146
V.2.1. Protocole d'analyse.....	146
a. Préparation du matériel.....	146
b. Méthode d'analyse.....	147
V.2.2. Calcul des paramètres granulométriques.....	147
a. Les paramètres de position.....	147
b. Les indices granumolétriques.....	148
V.3. Résultats.....	150
V.3.1. Analyse de la fraction fine.....	150
V.3.2. Analyse de la fraction grossière.....	152
V.4. Modélisation du transport sédimentaire.....	155
Conclusion.....	156
Bibliographie.....	158
Annexes.....	162

Liste des acronymes

A.N.R.H : Agence Nationale des **R**essources **H**ydriques.

C.T.H : organisme national de **C**ontrôle **T**echnique de la construction **H**ydraulique.

D.S.A.S: Digital Shoreline Analysis System.

ENSSMAL : Ecole Nationale Supérieure des **S**ciences de la **M**er et de l'**A**ménagement du **L**ittoral.

E.P.R: End **P**oint **R**ate.

E.S.R.I: Environmental Systems **R**esearch **I**nstitute.

G.E.B.C.O: General **B**athymetric **C**hart of the **O**ceans.

H.s: Hauteur significative.

I.N.C.T: Institut National de **C**artographie et de **T**éledétection.

K.M.L: **K**eyhole **M**arkup **L**anguage.

K.N.M.I: Koninklijk Nederlands **M**étéorologisch **I**nstitut.

K.r: Coefficient de **r**éfraction.

L.E.M : Laboratoire des **É**tudes **M**aritimes.

M.R.E : Ministère des **R**essources en **E**aux.

N.S.M: Net Shoreline **M**ovement.

O.N.M : Office National de **M**étéorologie.

O.N.S.M : Office National de **S**ignalisation **M**aritime.

S.I.G : Système d'**I**nformation **G**éographique.

S.H.O.M : Service **H**ydrographique et **O**céanographique de la **M**arine.

S.S.M.O: Summary of **S**ynoptic **M**eteorological **O**bservation.

S.P.O.T : Système **P**robatoire d'**O**bservation de la **T**erre.

U.N.E.S.C.O: United Nations **E**ducational **S**cientific and **C**ultural **O**rganization.

U.T.M: Universal **T**ime **M**ercator.

U.S.N.W.S.C: United States of Naval **W**eather **S**ervice **C**ommand

W.G.S: World **G**eoïde **S**ystem

Ws : Vitesse de chute des particules

Liste des figures

Figure I.1: Boite montrant les différents phénomènes et lien les recoupant en zone côtière.....	18
Figure I.2: Représentation schématique de l'approche morphodynamique incluant les facteurs environnementaux et leur influence sur le système côtier.....	19
Figure I.3: Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers.....	20
Figure I.4: Le courant de retour en zone de déferlement.....	21
Figure I.5: Classification des différents types de transport en fonction de la taille des sédiments	22
Figure II.1: Localisation du golfe d'Oran.....	25
Figure II.2: Localisation de la baie de Bou-Ismaïl.....	26
Figure II.3: Localisation de la baie d'Alger.....	26
Figure II.4: Localisation du golfe de Bejaia.....	27
Figure II.5: Localisation du golfe de Skikda.....	28
Figure II.6: Position des différentes unités géologiques des Maghrébides	28
Figure II.7: Esquisse morphologique du secteur Ténès-Oran	29
Figure II.8: Esquisse morphologique du secteur Alger-Ténès.....	30
Figure II.9: Esquisse morphologique du secteur Bejaia-Alger.....	30
Figure II.10: Esquisse morphologique du secteur Annaba-Bejaia.....	31
Figure II.11: Carte des bassins versants littoraux et réseau hydrographique.....	32
Figure II.12: Rose des vents sur une période annuelle (1990 – 2010).....	33
Figure II.13: Rose des vents sur une période annuelle (1995 - 2005).....	34
Figure II.14: Roses trimestrielles et annuelle des vents au large des côtes de Bejaia.....	35
Figure II.15: Rose des vagues au large de la côte Algérienne.....	37
Figure II.16: Rose de la fréquence moyenne hivernale et estivale des houles par direction.....	39
Figure II.17: Rose annuelle des houles.....	40
Figure II.18: Roses trimestrielle et annuelle de la houle.....	41
Figure III.1: Interface cartographique de la marine géoscience (GEBCO).....	46
Figure III.2: Traitement de la GEBCO One Minute Grid sous MATLAB	46
Figure III.3: Carte bathymétrique d'un cas d'exemple sous MATLAB.....	47
Figure III.4: Digitalisation des isobathes sous Mike 21.....	48
Figure III.5: Maillage du Mesh Generator sous MIKE Zero.....	48
Figure III.6: Exemple d'interpolation sur une zone d'étude.....	49
Figure III.7: Carte bathymétrique d'un cas d'exemple sous MIKE 21.....	49
Figure III.8: Le concept du modèle de MIKE Spectral Waves FM.....	50
Figure III.9: La série temporelle du modèle de MIKE Spectral Waves FM.....	51
Figure III.10: Carte bathymétrique du golfe d'Oran.....	51
Figure III.11: Carte bathymétrique de la partie Ouest du golfe d'Oran (Zone 1)	52
Figure III.12: Plan de propagation de la houle de la partie Ouest du golfe d'Oran (Zone 1).....	53
Figure III.13: Carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl.....	53
Figure III.14: Carte bathymétrique de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1)	54
Figure III.15: Plan de propagation de la houle de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1)	55
Figure III.16: Carte bathymétrique de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2)	56
Figure III.17: Plan de propagation de la houle de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2).....	57
Figure III.18: Carte bathymétrique de la baie d'Alger.....	57
Figure III.19: Carte bathymétrique de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone1)	58
Figure III.20: Plan de propagation de la houle de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone1)	58
Figure III.21: Carte bathymétrique de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone2)	59
Figure III.22: Plan de propagation de la houle de la partie Centre de la baie d'Alger(Zone2)	60
Figure III.23: Carte bathymétrique de la partie Est de la baie d'Alger (Zone 3)	61
Figure III.24: Plan de propagation de la houle de la partie Est de la baie d'Alger (Zone3)	62
Figure III.25: Carte bathymétrique de la partie Est de la baie d'Alger (Zone 4)	63
Figure III.26: Plan de propagation de la houle de la partie Est de la baie d'Alger (Zone4).....	64
Figure III.27: Carte bathymétrique du golfe de Bejaia.....	65
Figure III.28: Carte bathymétrique de la partie Ouest du golfe de Bejaia (Zone 1)	65
Figure III.29: Plan de propagation de la houle de la partie Ouest du golfe de Bejaia (Zone1)	66
Figure III.30: Carte bathymétrique du golfe de Skikda.....	67
Figure III.31: Carte bathymétrique de la partie Ouest (Zone 1) du golfe de Skikda.....	67

Figure III.32: Plan de propagation de la houle de la partie Ouest (Zone1) du golfe de Skikda.....	68
Figure III.33: Carte bathymétrique de la partie Centre (Zone 2) du golfe de Skikda.....	69
Figure III.34: Plan de propagation de la houle de la partie Centre (Zone2) du golfe de Skikda.....	69
Figure III.35: Carte bathymétrique de la partie Est (Zone 3) du golfe de Skikda.....	70
Figure III.36: Plan de propagation de la houle de la partie Est (Zone3) du golfe de Skikda.....	71
Figure III.37: Carte bathymétrique de la partie Est (Zone 4) du golfe de Skikda.....	72
Figure III.38: Plan de propagation de la houle de la partie Est (Zone4) du golfe de Skikda.....	73
Figure IV.1: Digitalisation du trait de côte en utilisant l'extension de Google Earth Pro.....	78
Figure IV.2: Reprojection du trait de côte en utilisant l'outil d'ArcGIS.....	79
Figure IV.3: Digitalisation du trait de côte sous ArcGIS.....	79
Figure IV.4: Les données créées dans ArcCatalog et ArcMap (ArcGIS 10.2).....	80
Figure IV.5: Le concept du DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous ArcMap.....	81
Figure IV.6: La table attributaire issue lors du traitement sous ArcMap	82
Figure IV.7: La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses	82
Figure IV.8: Localisation de la zone d'étude.....	83
Figure IV.9: Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest du golfe d'Oran entre 2004 et 2016 et position des transects.....	84
Figure IV.10: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2004 et 2008.....	85
Figure IV.11: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2008 et 2012.....	85
Figure IV.12: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2012 et 2016.	86
Figure IV.13: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2004 et 2016.	86
Figure IV.14: Bilan sédimentaire de la partie Ouest du golfe d'Oran de 2004 à 2016.....	87
Figure IV.15: Le modèle cartographique basé sur le calcul d'EPR du golfe d'Oran entre 2004 et 2016.....	88
Figure IV.16: Localisation des zones d'études	89
Figure IV.17: Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl entre 2004 et 2016 et position des transects.....	90
Figure IV.18: Evolution du trait de côte (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2004 et 2008.....	91
Figure IV.19: Evolution du trait de côte (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2008 et 2012.....	91
Figure IV.20: Evolution du trait de côte (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2012 et 2016.....	92
Figure IV.21: Evolution du trait de côte (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2004 et 2016.....	92
Figure IV.22: Bilan sédimentaire de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl de 2004 à 2016.....	93
Figure IV.23: Evolution de la ligne de côte de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl entre 2004 et 2016 et position des transects.....	94
Figure IV.24: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2004 et 2008.....	95
Figure IV.25: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2008 et 2012.....	95
Figure IV.26 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2012 et 2016	96
Figure IV.27 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2004 et 2016.	96
Figure IV.28 : Bilan sédimentaire de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl de 2004 à 2016.....	97
Figure IV.29 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) de la baie de Bou-Ismaïl entre 2004 et 2016.	98
Figure IV.30 : Localisation des zones d'études.....	99
Figure IV.31 : Evolution de la ligne de côte de la partie Centre de la baie d'Alger (zone1) entre 2004 et 2016 et position des transects.....	100
Figure IV.32 : Evolution du trait de côte (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2004 et 2016.....	101
Figure IV.33 : Evolution du trait de côte (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2008 et 2012.....	101
Figure IV.34 : Evolution du trait de côte (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2012 et 2016.....	102
Figure IV.35: Evolution du trait de côte (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2004 et 2016.....	102
Figure IV.36 : Bilan sédimentaire de la partie Centre de la baie d'Alger (zone 1) de 2004 à 2016.....	103

Figure IV.37 : Evolution de la ligne de côte de la partie Centre de la baie d'Alger (zone 2) entre 2004 et 2016 et position des transects.	104
Figure IV.38: Evolution du trait de côte (Verte Rive, Sirène II, Sirène I) entre 2004 et 2008.....	105
Figure IV.39: Evolution du trait de côte (Verte Rive, Sirène II, Sirène I) entre 2008 et 2012.....	105
Figure IV.40: Evolution du trait de côte (Verte Rive, Sirène II, Sirène I) entre 2012 et 2016.....	106
Figure IV.41: Evolution du trait de côte (Verte Rive, Sirène II, Sirène I) entre 2004 et 2016.....	106
Figure IV.42 : Bilan sédimentaire de la partie Centre de la baie d'Alger (zone 2) de 2004 à 2016.....	107
Figure IV.43 : Evolution de la ligne de côte de la partie Est de la baie d'Alger (zone 3) entre 2004 et 2016 et position des transects.....	108
Figure IV.44: Evolution du trait de côte (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2004 et 2008.....	109
Figure IV.45: Evolution du trait de côte (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2008 et 2012.....	109
Figure IV.46: Evolution du trait de côte (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2012 et 2016.....	110
Figure IV.47: Evolution du trait de côte (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2004 et 2016.....	110
Figure IV.48: Bilan sédimentaire de la partie Est de la baie d'Alger (zone 3) de 2004 à 2016.....	111
Figure IV.49: Evolution de la ligne de côte de la partie Est de la baie d'Alger (zone 4) entre 2004 et 2016 et position des transects.....	112
Figure IV.50: Evolution du trait de côte (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2004 et 2008.....	113
Figure IV.51: Evolution du trait de côte (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2008 et 2012.....	113
Figure IV.52: Evolution du trait de côte (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2012 et 2016.....	114
Figure IV.53: Evolution du trait de côte (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2004 et 2016.....	114
Figure IV.54: Bilan sédimentaire de la partie Est de la baie d'Alger (zone 4) de 2004 à 2016.....	115
Figure IV.55: Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) de la baie d'Alger entre 2004 et 2016.....	116
Figure IV.56: Localisation de la zone d'étude.....	117
Figure IV.57: Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest du golfe de Bejaia entre 1989 et 2015 et position des transects.....	118
Figure IV.58: Evolution du trait de côte (Sidi Ali Lebher, Boukhelifa, Tichy, Aokas) entre 1989 et 2015.....	119
Figure IV.59: Bilan sédimentaire de la partie Ouest du golfe de Bejaia de 2004 à 2015.....	120
Figure IV.60 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) du golfe de Bejaia entre 1983 et 2016.	121
Figure IV.61 : Localisation des zones d'études.....	122
Figure IV.62 : Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest du golfe de Skikda (zone1) entre 2004 et 2016 et position des transects.	123
Figure IV.63: Evolution du trait de côte (Ben Zouite, Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2004 et 2008.....	124
Figure IV.64: Evolution du trait de côte (Ben Zouite, Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2008 et 2012.....	124
Figure IV.65: Evolution du trait de côte (Ben Zouite, Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2012 et 2016.....	125
Figure IV.66: Evolution du trait de côte (Ben Zouite, Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2004 et 2016.....	125
Figure IV.67: Bilan sédimentaire de la partie Ouest du golfe de Skikda (zone 1) de 2004 à 2016.....	126
Figure IV.68: Evolution de la ligne de côte de la partie Centre du golfe de Skikda (zone 2) entre 2004 et 2016 et position des transects.	127
Figure IV.69: Evolution du trait de côte (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2004 et 2008.....	128
Figure IV.70: Evolution du trait de côte (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2008 et 2012.....	128
Figure IV.71 : Evolution du trait de côte (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2012 et 2016.....	129
Figure IV.72: Evolution du trait de côte (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2004 et 2016.....	130
Figure IV.73: Bilan sédimentaire de la partie Centre du golfe de Skikda (zone 2) de 2004 à 2016.....	131
Figure IV.74: Evolution de la ligne de côte de la partie Est du golfe de Skikda (zone 3) entre 2004 et 2016 et position des transects.	133
Figure IV.75: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2004 et 2008.....	134
Figure IV.76: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2008 et 2012.....	134
Figure IV.77: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2012 et 2016.....	135
Figure IV.78: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2004 et 2016.....	135
Figure IV.79: Bilan sédimentaire de la partie Est du golfe de Skikda (zone 3) de 2004 à 2016.....	136
Figure IV.80: Evolution de la ligne de côte de la partie Est du golfe de Skikda (zone 4) entre 2004 et 2016 et position des transects.	137
Figure IV.81: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2004 et 2008.....	138
Figure IV.82: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2008 et 2012.....	138

Figure IV.83: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2012 et 2016.....	139
Figure IV.84: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2004 et 2016.....	139
Figure IV.85: Bilan sédimentaire de la partie Est du golfe de Skikda (zone 4) de 2004 à 2016.....	140
Figure IV.86: Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) du golfe de Skikda entre 2004 et 2016.....	141
Figure V.1: Schéma de principe du transport des sables et des graviers	143
Figure V.2: Localisation géographique de la zone d'étude.....	144
Figure V.3: Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne.....	145
Figure V.4: Positionnement des points de prélèvement dans la partie marine.....	145
Figure V.5: Interface graphique sous Matlab pour extraire les paramètres et les courbes granulométriques à partir d'une matrice.....	150
Figure V.6: Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie aérienne.....	151
Figure V.7: Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie marine.....	151
Figure V.8: Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie aérienne.....	152
Figure V.9: Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie marine.....	153
Figure V.10: Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi-Fredj.....	155

Liste des tableaux

Tableau II.1: Bassins versants et principaux cours d'eau de l'Algérie du nord (l'apport moyen annuel de ces oueds est de 10.6×10^9 m ³ /an.....	33
Tableau II.2: La répartition de la fréquence des vents, en pourcentage, par intensité et direction.....	37
Tableau II.3: Hauteurs significatives (m).....	39
Tableau II.4: Fréquence mensuelle de la houle au large de la baie de Bou-Ismaïl par direction.....	40
Tableau II.5: Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions	41
Tableau II.6: Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle.....	43
Tableau V.1: Les valeurs adoptées de M_z	149
Tableau V.2: Les valeurs adoptées de S_o pour le classement.....	150
Tableau V.3: Les valeurs adoptées de SK pour l'asymétrie.....	150
Tableau V.4: Les valeurs adoptées de KG pour l'acuité du mode.....	150
Tableau V.5: Calcule des indices granulométrique et interprétation des résultats.....	154
Tableau V.6: Calcule des indices granulométrique et interprétation des résultats.....	155

Liste des photos

Photo V.1 : Prélèvement d'un échantillon.....	145
Photo V.2 : Matériels utilisés lors d'analyse.....	147

Introduction

INTRODUCTION GENERALE

Autrefois considérée comme l'objet d'investigations purement scientifiques, la dynamique du littoral et en particulier l'érosion côtière est devenue un enjeu sociétal.

Aujourd'hui, le littoral n'est pas seulement le point de contact entre les trois compartiments terrestres que sont l'hydrosphère, la lithosphère et l'atmosphère, c'est aussi l'entité géographique qui possède le poids économique et démographique le plus important.

BIRD (1985) a montré que 70 % des rivages dans le monde sont soumis à l'érosion. Plus récemment, BEER (1997) soulignait aussi que l'évolution des littoraux sableux est dominée généralement par une tendance régressive. Les études menées ces dernières années dans les différentes régions du monde montrent que la régression des côtes sableuses est un phénomène planétaire.

L'érosion côtière est une grave menace pour de nombreux sites côtiers algériens, en particulier le long des littoraux sableux. Ces derniers qui constituent un milieu très mobile, sont au centre de cette étude. Ils résultent d'une accumulation de grains provenant de l'érosion des reliefs continentaux et transportés jusqu'à la côte sous l'action des fleuves. Ils transitent ensuite le long du rivage sous l'action de la houle et des courants qu'elle induit. Si ces grains sont suffisamment nombreux, les vagues viennent le déposer au-dessus du niveau de la mer, où ils sont repris par le vent, formant ainsi les plages. Si les apports ne sont pas suffisants, aucune plage ne peut être édifiée, la mer gagne alors du terrain en érodant la côte.

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte à l'échelle régionale et locale pose de nombreuses questions d'ordre méthodologique relatives au choix de l'indicateur à utiliser, à la façon de l'extraire et de mesurer sa mobilité à différentes échelles et à partir de données hétérogènes.

De manière à traiter ces questions, ce mémoire s'organise en cinq principaux chapitres :

Le premier chapitre est consacré à la synthèse des connaissances nécessaires pour traiter ce sujet. Il dresse un état de l'art concernant les concepts et les outils théoriques qui permettent de comprendre et d'expliquer le système côtier sableux, la morphodynamique côtière, l'hydrodynamisme et le transport sédimentaire.

Le deuxième chapitre est réservé à la présentation des zones choisies pour la réalisation de ce mémoire. Chaque zone d'étude sera ensuite replacée dans son contexte géographique, géologique, géomorphologique, hydrologique, climatologique et enfin hydrodynamique.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la modélisation bathymétrique et hydrodynamique. La première partie de ce chapitre, expose la démarche méthodologique privilégiée pour étudier la

propagation de la houle de nos zones d'étude. La seconde partie vise à expliquer les résultats obtenus lors de cette étude.

Le quatrième chapitre est réservé à l'analyse régionale ainsi que les sites qui ont été sélectionné pour des analyses plus détaillées. Il commence par une présentation des données existantes, des lignes de référence sélectionnées, des traitements appliqués pour cartographier la morphologie du trait de côte et positionner les lignes de référence. Ensuite, il expose les principaux résultats obtenus à plusieurs échelles de temps ainsi qu'une discussion de ces résultats pour chacune des échelles considérées.

Le cinquième chapitre présente la zone choisie comme cas d'étude pour l'analyse granulométrique. Il décrit l'approche méthodologique employée pour l'expérimentation in situ ainsi que les diverses techniques de traitement et d'analyse des données. Le transport sédimentaire associé aux changements morphologiques des plages est analysé en fonction de plusieurs paramètres caractéristiques des processus hydrosédimentaires mis en jeu. L'analyse se base principalement sur l'effet de l'interaction des non-linéarités des vagues sur la direction du transport sédimentaire.

Chapitre I

Généralités sur les plages sableuses

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LES PLAGES SABLEUSES

Pour faciliter la compréhension de ce mémoire, cette première partie expose les concepts utilisés pour décrire le milieu sableux côtier, ainsi qu'un récapitulatif des connaissances acquises sur le sujet.

I.1. GENERALITES

Le littoral est une bande à l'intérieur de laquelle les contacts terre-mer se déplacent. Les caractéristiques physiques de cet espace géographique changent sous l'influence combinée des eaux marines (niveau de la mer, houle, marées et courants), du climat global et des évolutions naturelles (structure géologique) et anthropiques.

Le trait de côte est par définition la ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques (définition du SHOM) et par extension, la limite entre la mer et la terre (MEEDDM, 2010).

A l'interface entre mer et continent, les littoraux sableux représentent environ 34 % du linéaire côtier mondial (HARDISTY, 1994). Dans ces environnements, la tendance érosive naturelle est parfois accélérée par des actions anthropiques qui ont introduit un déséquilibre dans les processus côtiers en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (PASKOFF, 1998). La dynamique naturelle des sédiments fluviaux, principale source d'alimentation des côtes, est entravée par l'aménagement des cours d'eau (barrages, stabilisation des berges). Localement, des effets néfastes d'ouvrages de protection (digues, épis, ouvrages portuaires) sont parfois ressentis, perturbant la dynamique sédimentaire naturelle. Enfin, l'extraction de granulats marins peut avoir des conséquences préjudiciables sur la stabilité du trait de côte en aggravant le déficit sédimentaire de la zone côtière.

I.2. LA COMPLEXITE DU DOMAINE LITTORAL

Le domaine littoral est un système complexe où divers phénomènes d'échelles spatio-temporelles bien distinctes interagissent (Figure I.1). Pour exemples de ces phénomènes, du plus large au plus local, le littoral est directement soumis aux forces de marée, au vent, aux apports continentaux, aux mouvements induits par les vagues (à la fois ondes longues et ondes courtes) ou encore à la turbulence de l'écoulement. D'un point de vue temporel, les échelles varient de quelques secondes des centaines

d'années, allant de la mise en mouvement du grain de sable à l'évolution globale des plages et du trait de côte.

De part ce nombre considérable de phénomènes et de leurs interactions, la dynamique d'un tel environnement est très complexe. En effet, la simple mise en mouvement de quelques particules peut conduire à la formation de fines structures morphologiques telles que les rides sableuses. De telles structures modifient la rugosité du fond et donc le frottement entre les phases liquide et sableuse. Ces évolutions sont à l'origine de la formation de nouvelles structures et un cycle évolutif peut ainsi être amorcé. L'environnement littoral est le résultat de la rétroaction perpétuelle existant entre ces divers phénomènes (N.BRUNEAU, 2009).

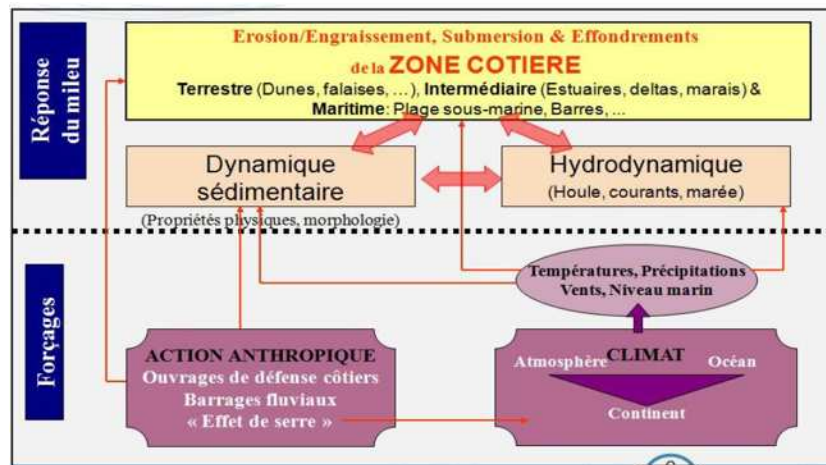


Figure I.1 : Boite montrant les différents phénomènes et lien les recoupant en zone côtière. (GARLAN, 2010)

I.3. MORPHODYNAMIQUE COTIERE : PRINCIPES ET CONCEPTS

Wright & Thom (1977) sont les premiers à avoir utilisé une approche morphodynamique du système côtier en identifiant l'avant et l'après modification, ainsi que les processus qui en sont responsables, tout en considérant une rétroaction possible entre les différentes composantes. Le milieu côtier est contrôlé par trois facteurs environnementaux (Figure I.2) :

- Les volumes sédimentaires apportés par les fleuves, les bassins versants.
- La géologie régionale qui définit l'espace disponible pour l'évolution du littoral.
- Les forçages externes qui correspondent aux processus énergétiques (vagues, marées, vent...) responsables des changements morphologiques.

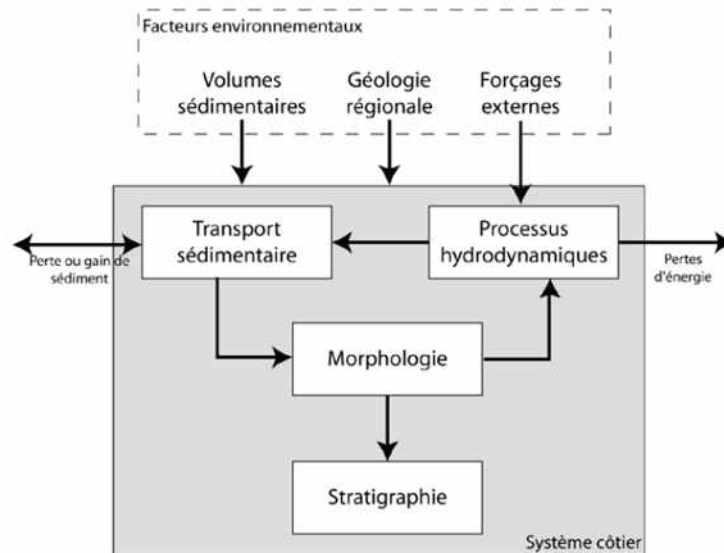


Figure I.2 : Représentation schématique de l'approche morphodynamique incluant les facteurs environnementaux et leur influence sur le système côtier. Les flèches indiquent le rapport entre les différents compartiments sans tenir compte de l'aspect temporel (modifié d'après COWELL & THOM, 1994).

La diversité des systèmes côtiers dans le monde est l'illustration de l'influence exercée par ces facteurs. Un système côtier est défini par sa morphologie (présence ou non de barres sédimentaires, de lagunes, de graus...) qui exerce une influence sur les agents hydrodynamiques responsables du transport sédimentaire (Figure I.3), notamment la houle, par l'intermédiaire des multiples transformations qu'elles subissent sur l'avant-côte. Cette influence se manifeste en particulier par des pertes d'énergie à l'approche de la côte (ARDHUIN *et al.*, 2003). Le transport sédimentaire qu'induisent les facteurs hydrodynamiques est donc, par essence, profondément différencié selon les zones de l'avant-côte considérées, créant des secteurs en accrétion ou en érosion et contribuant ainsi au modelage d'une nouvelle morphologie. Cette boucle est rétroactive et se reproduit dans le temps à différentes échelles.

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement morphodynamique d'un système côtier peut être très variable. A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale fonction de l'amplitude volumique des changements morphologiques mis en jeu. Dans le cas d'un système côtier, l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales du système et l'échelle temporelle associée peut être supposée (DE VRIEND, 1991). Il découle de cette relation une hiérarchisation spatio-temporelle (KROON, 1994) des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière (Figure I.3).

Selon la nomenclature de De Vriend, on peut en particulier distinguer les échelles suivantes :

- la micro-échelle ou échelle des processus qui concerne les processus physiques, constitutifs de la houle, des courants ou du transport sédimentaire, et agissant à une échelle plus courte que celle du comportement morphodynamique correspondant.

- la méso-échelle ou échelle dynamique qui concerne le comportement morphodynamique dû à l'interaction entre les processus physiques et la topographie. Elle permet de dater, entre autre, la propagation de corps sédimentaires ou encore la migration des barres.
- la macro-échelle ou échelle de tendance qui concerne les tendances ayant lieu à une échelle de temps plus longue que celle des comportements morphodynamiques primaires. Ces tendances peuvent être dues aux variations saisonnières de comportement ou à l'évolution progressive des forçages extérieurs (évolution du marnage, élévation du niveau moyen de la mer).

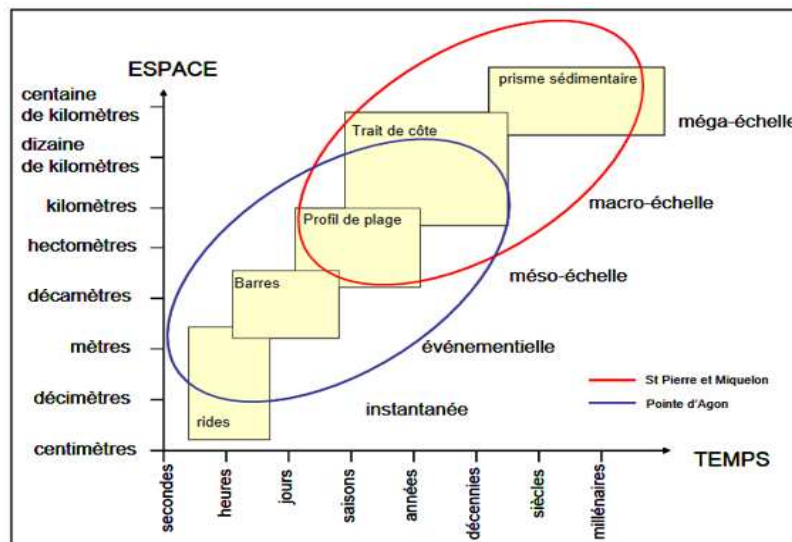


Figure I.3 : Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers. Synthèse proposée par LEVOY (2000).

I.5. PROCESSUS HYDRODYNAMIQUES

La zone littorale est une zone complexe où se produisent de nombreuses interactions entre les agents dynamiques responsables des circulations hydrodynamiques

I.5.1. La houle

La houle est issue de l'action du vent sur la surface de l'eau. Formée au large, elle se propage à travers plusieurs domaines. Tout d'abord en domaine profond où l'action du fond n'a aucun effet sur leur propagation qui est alors définie comme dispersif. A l'approche de la côte, la houle va peu à peu se modifier en raison des contraintes de frottement au niveau du fond.

Passant d'un domaine intermédiaire où elles subissent des modifications de leur forme, tout en conservant leur caractéristique dispersive, à un domaine peu profond où elles perdent cette caractéristique, et subissent un déferlement bathymétrique.

I.5.2 Les courants

Lorsque la houle approche du rivage, elle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie; une fraction, cependant, demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse.

On distingue alors le courant de retour (« *undertow* »), le courant sagittaire (« *rip current* ») et le courant de dérive.

Après le déferlement, la hauteur des vagues diminue et on assiste à une élévation de la surface libre moyenne (« *setup* ») qui est due à un excès de quantité de mouvement induite par la présence des vagues, également appelé tension de radiation (LONGUET-HIGGINS & STEWART, 1964). L'apport de masse suivant la direction normale au trait de côte est alors compensé par un courant de retour sur le fond (Figure I.4) dirigé vers le large. C'est un courant stable dont l'intensité est proportionnelle à la hauteur de vagues (SVENDSEN, 1984).

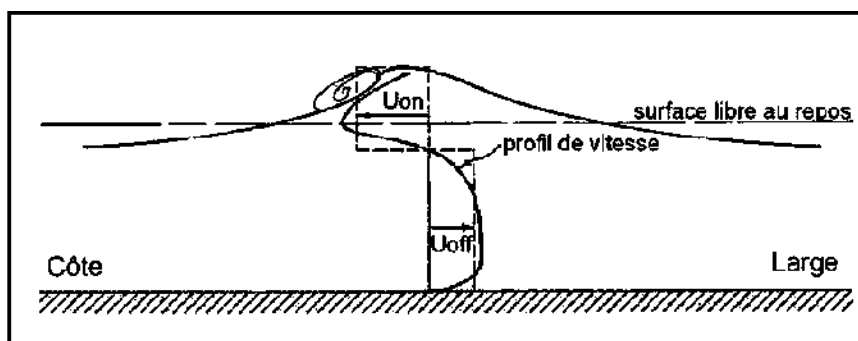


Figure I.4 : Le courant de retour en zone de déferlement(MC KEE-SMITH, 1995)

Généralement, les vagues se propagent et déferlent sur des bathymétries complexes. Dans ce cas, l'élévation de la surface libre moyenne n'est pas uniforme le long de la côte (BOWEN, 1969). Il se forme alors des courants sagittaux ou courants d'arrachement, dirigés vers le large, qui compensent l'afflux d'eau à la côte suivant des chenaux préférentiels (VAN RIJN, 1998). Ils peuvent atteindre des vitesses très élevées, affectent toute la tranche d'eau et sont souvent périodiquement répartis sur le littoral (SHORT, 1985). La présence d'une onde de bord est considérée comme la cause la plus probable de cette répartition périodique (HUNTLEY & SHORT, 1992).

Quand une vague atteint le rivage avec une incidence oblique, un courant parallèle à la côte, appelé courant de dérive, se forme. Son intensité est maximale derrière le point de déferlement (CASTELLE, 2006). Ce type de courant est généralement uniforme sur la colonne d'eau (BUJAN-NANS, 2009) et est fortement impliquée dans la dynamique des cellules hydro-sédimentaires, pouvant transporter des sédiments sur des dizaines ou des centaines de kilomètres (LAFON et al, 2005 in DEHOUCK, 2006).

I.5.3. Courant de marée

Les oscillations du niveau des mers et des océans qu'entraîne la marée s'accompagne de mouvements horizontaux de masses d'eau appelés courants de marée. Les courants induits par la marée sont fondamentaux. L'originalité de ces courants qui affectent l'ensemble de la masse d'eau (avec malgré tout une lente décroissance des vitesses vers le fond) réside, d'une part, dans leur puissance (atteignant parfois 12 noeuds, et ayant par conséquent une forte influence sur le relief sous-marin) et, d'autre part, dans leur réversibilité.

I.6. TRANSPORT SEDIMENTAIRE

En fonction de l'origine du sédiment, le transport total dans une tranche d'eau est défini par une fraction fine qui est transporté en suspension, une fraction sableuse ou supérieure qui est transportée soit au niveau du fond soit en suspension. Le transport total correspond alors à l'ensemble de ces processus (Figure I.5)

Le transport sédimentaire est initié lorsque les contraintes de cisaillement ou les vitesses du courant dépassent le seuil de mise en mouvement des particules. Ce seuil est étroitement lié à la taille du grain, la nature du sédiment et la densité du fluide dans lequel il est transporté (HULJSTROM, 1935 ; SHIELDS, 1936). Quelle que soit la taille des particules, le transport sédimentaire est contrôlé par la gravité et par les forces liées au fluide environnant. Il est alors divisé en trois modes de transport : le transport de fond (BEDLOAD) où le sédiment roule ou est tracté sur le substrat, la saltation caractérise les grains qui effectuent des ressauts au-dessus du fond et la suspension défini le transport dans la colonne d'eau (VAN RIJN, 1993).

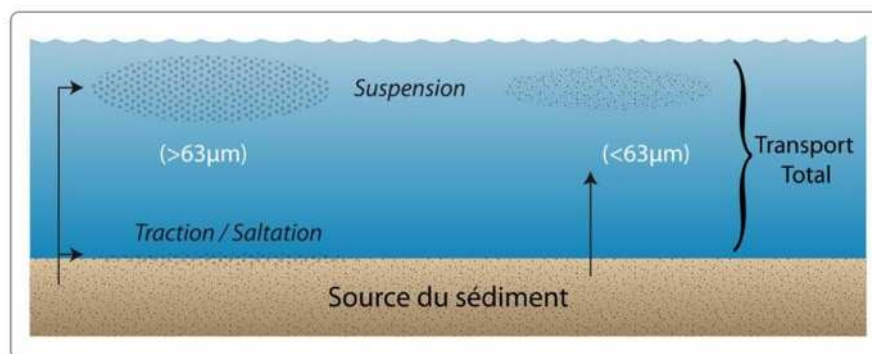


Figure I.5 : Classification des différents types de transport en fonction de la taille des sédiments (VAN RIJN, 1993).

Le transport en suspension est possible lorsque la vitesse d'initiation du mouvement est dépassée et surtout quand les forces verticales dirigées vers la surface engendrées par la turbulence et les vortex, sont supérieures à la vitesse de chute des particules (W_s). C'est pourquoi la fraction fine est facilement mobilisable mais nécessite un milieu quasiment immobile pour pouvoir se déposer.

Chapitre II

Présentation des zones d'étude

(Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaia et Skikda)

CHAPITRE II

PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE (ORAN, BOU-ISMAÏL, ALGER, BEJAIA ET SKIKDA)

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, un examen des contextes géographiques, géologique et géomorphologique des zones d'études est effectué afin de bien identifier les différentes caractéristiques du terrain.

II.1. PRESENTATION DE LA COTE ALGERIENNE

La côte algérienne s'étend sur 1622 km, cette dernière est caractérisée par les côtes rocheuses, côtes sableuses et quelques lagunes. Elle se présente comme une succession de baies plus au moins ouvertes séparées par des régions très escarpées et qui forment d'Est en Ouest les baies et les golfes suivants : golfe de Annaba ; golfe de Skikda ; baie de Jijel ; golfe de Bejaia ; baie de Zemmouri ; baie d'Alger ; baie de Bou-Ismaïl ; golfe d'Arzew ; golfe d'Oran ; baie de Béni Saf ; golfe de Ghazaouet.

Les baies et les golfes algériens sont généralement plus protégés à l'Ouest qu'à l'Est, par des pointes ou des promontoires rocheux faisant saillis vers le Nord ou le Nord-Est. Ils forment des abris efficaces contre les vents d'Ouest et du Nord-Ouest. C'est généralement derrière ces promontoires que la plupart des complexes portuaires algériens ont été établis.

Les hautes falaises qui bordent en générale cette côte sont soumises à des érosions marines et éoliennes. Le réseau hydrographique aboutissant en mer compte 31 oueds, dont les plus importants sont les oueds Tafna, Chelliff, Mazafran, El Harrach, Soummam, Sebaou, Isser, El Kebeir, Saf Saf, Seybouse. Ce réseau alimente le milieu marin en apports terrigènes.

II.2. PRESENTATION DES ZONES D'ETUDE

II.2.1. Situation géographique

La présente étude porte sur les cinq grand golfes et baies de l'ensemble de la côte algérienne et s'étend de la frontière algéro – tunisienne à l'Est à la frontière Algéro – marocaine à l'Ouest, soit la quasi-totalité du linéaire côtier de l'Algérie. D'Ouest en Est, la localisation et les caractéristiques principales des zones qui ont fait l'objet de la présente étude :

II.2.1.1. Le golfe d'Oran :

Le golfe d'Oran représente un assez grand bassin largement ouvert vers la Méditerranée. Sa façade maritime occupe une portion de 1/3 du littoral algérien (BOURAS et BOUTIBA, 2006), et il est situé dans la partie Nord occidentale de l'Algérie. L'étendue de cette dernière avoisine les 180 kilomètres et représente une largeur moyenne de 20 à 25 Km ; Il est limité à (Figure II.1) :

- L'Ouest par le Cap Falcon (0°47' Ouest et 35°46' Nord),
- L'Est par le Cap Carbon (Arzew) (0°22' Ouest et 35°54' Nord),

Ou s'alternent avec un pourcentage à peu près équivalent des côtes rocheuses (54%) et des côtes basses de matériaux meubles (46%), ce dernier se caractérise par l'absence d'oued, excepté de rares oueds côtiers d'importance très modeste. (BOUTIBA et al, 2003). Le littoral oranais présente un plateau réduit avec d'importantes plages ouvertes dont une grande partie est constituée par un relief rocheux (BOUTIBA, 1992).



Figure II.1: Localisation du golfe d'Oran (Google Earth Pro, 2016).

II.2.1.2. La baie de Bou-Ismaïl:

L'ouverture de la baie de Bou-Ismaïl est d'environ 40 Km, et s'oriente du Sud-Ouest à Nord-Est. Elle est limitée par le rivage qui dessine un cercle à grand rayon de courbure interrompu à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj (DAGORNE, 1970). Cette baie couvre une surface de l'ordre de 350 Km².

La baie de Bou-Ismaïl est située à 45 Km à l'Ouest d'Alger, elle est délimitée par (Figure II.2) :

- Le Cap Annouche du Mont Chenoua à l'Ouest (2°24' Est et 36°38' Nord),

- Le Cap Caxine (Ras Acrata) à l'Est de Sidi-Fredj ($2^{\circ}55'$ Est et $36^{\circ}48'$ Nord),

(BRAIK, 1989, *in* HADDOUCHE, 2003). La baie est le réceptacle d'oued à régime irrégulier : Mazafran, Nador et Béni-messous. (KHAOUNI, 2003).

Concernant notre étude, nous avons choisies le site situé entre le Cap Annouche du Mont Chenoua et la presqu'île de Sidi Fredj.



Figure II.2 : Localisation de la baie de Bou-Ismaïl (Google Earth Pro, 2016).

II.2.1.3. La baie d'Alger :

La baie d'Alger se situe au cœur du littoral algérois, elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Mitidja, caractérisée par sa forme semi circulaire, elle est limité à (Figure II.3) :

- L'Ouest par la Pointe Pescade ($3^{\circ}00'$ Est et $36^{\circ}49'$ Nord).
- L'Est par le Cap Matifou ($3^{\circ}13'$ Est et $36^{\circ}49'$ Nord).

Elle mesure 15 Km d'Est en Ouest et 7 Km du Nord au Sud. Deux Oueds se déversent dans la baie d'Alger, ce sont Oued El Hamiz et Oued El Harrach.

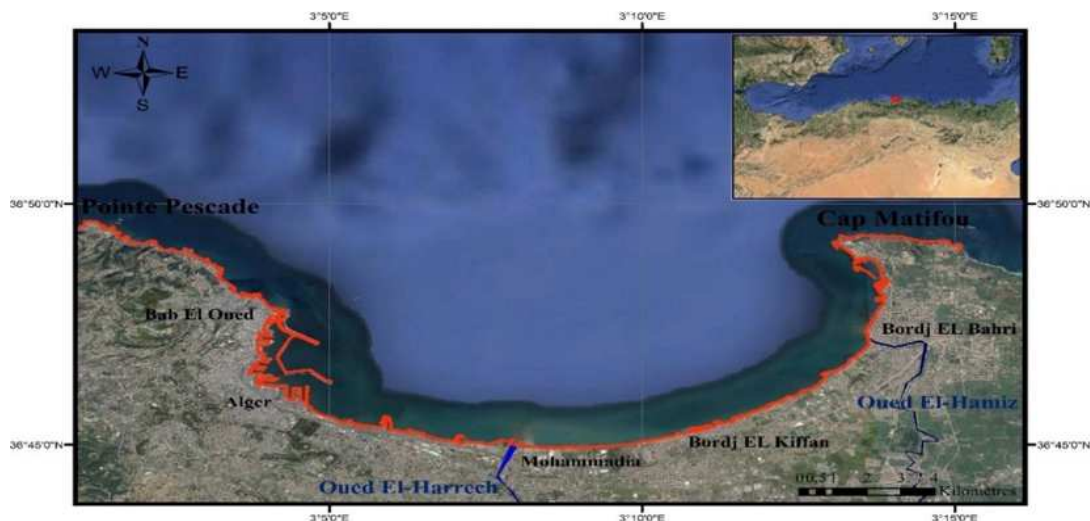


Figure II.3 : Localisation de la baie d'Alger (Google Earth Pro, 2016).

II.2.1.4. Le golfe de Bejaia

Le linéaire côtier du golfe de Bejaia est de 89 km, il recèle une morphologie côtière variée, elle est composée de falaises et de plages. Le golfe est traversé par plusieurs oueds du fait d'une forte pluviométrie. Les plus importants oueds sont l'oued Soummam et l'oued Agrioun (REFES, 2011).

Elle est située à environ 250 km à l'Est d'Alger, il est compris entre deux massifs d'âge et de nature différents (Figure II.4) :

- Le Cap Carbon ($5^{\circ}06'$ Est et $36^{\circ}46'$ Nord),
- le massif d'El Aouana ($5^{\circ}36'$ Est et $36^{\circ}46'$ Nord),

Il s'étend sur 1.669 km², le plateau continental du rivage à 100 mètres de profondeur représente une superficie de 516 km², le bord supérieur du talus continental de 100 à 500 mètres de profondeur s'étend sur 303 km² et la partie inférieure du talus continental de 500 à 1.000 mètres de profondeur représente 850 km² (REFES, 2011).

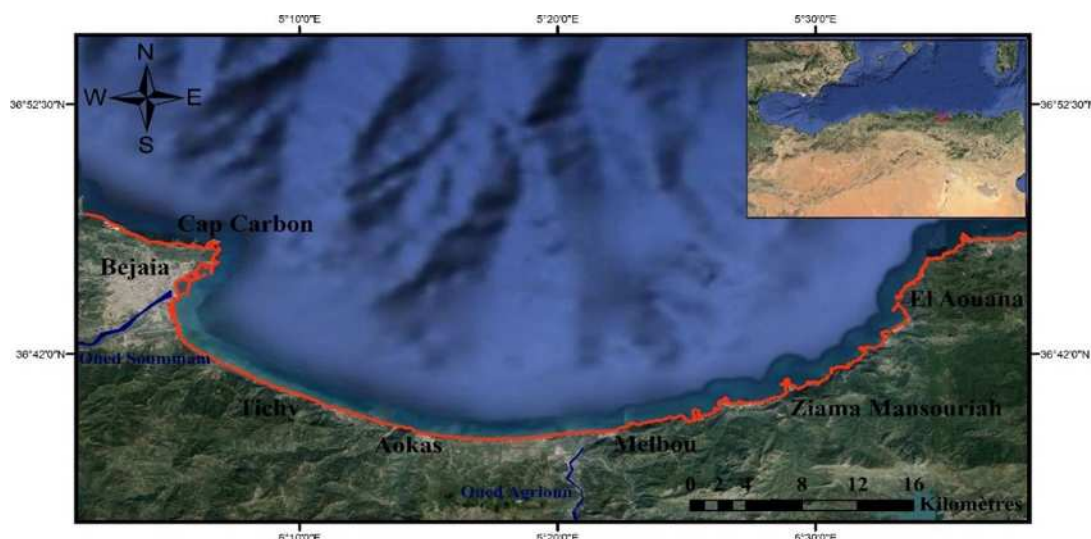


Figure II.4 : Localisation du golfe de Bejaia (Google Earth Pro, 2016).

II.2.1.5. Le golfe de Skikda :

Le golfe de Skikda (147 km) est situé entre deux pointes rocheuses (Figure II.5) :

- Cap Bougaroun ($6^{\circ}48'$ Est et $36^{\circ}57'$ Nord),
- Cap de Fer ($7^{\circ}10'$ Est et $37^{\circ}04'$ Nord),

Trois Oueds se déversent dans la baie de Skikda (Tamanart, Guerguoura-Guebli et El Kebir).

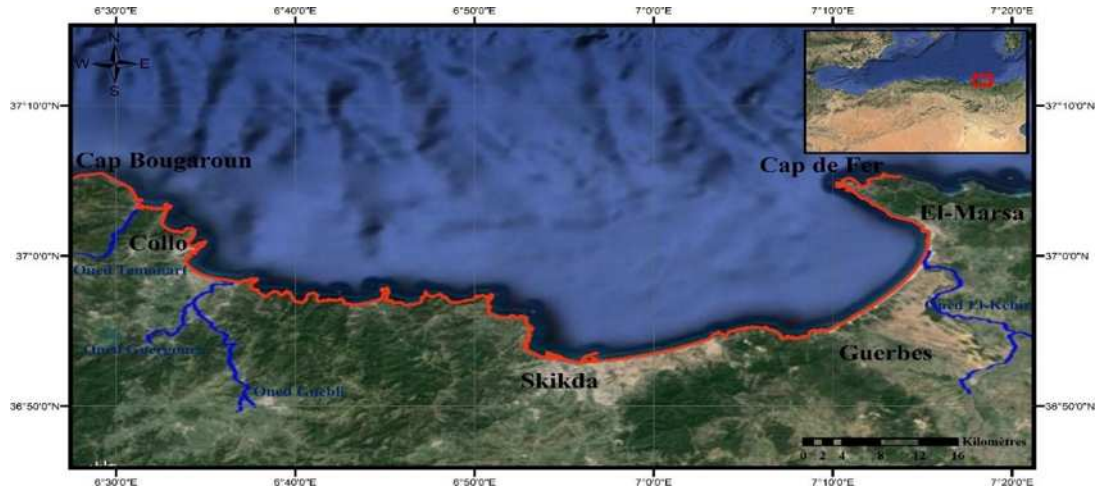


Figure II.5 : Localisation du golfe de Skikda (Google Earth Pro, 2016).

II.3. CARACTERISTIQUE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

Nous examinerons successivement les caractéristiques géomorphologiques du littoral algérien, le contexte géologique des zones d'études ainsi leurs caractéristiques sédimentologiques.

II.3.1. Contexte géologique

L'histoire du bassin Nord-Algérien est étroitement liée à celle de la chaîne des Maghrébides et les études géologiques à terre ont permis de caractériser la chaîne et d'y reconnaître trois grands domaines (WILDI, 1983) (Figure II.6) :

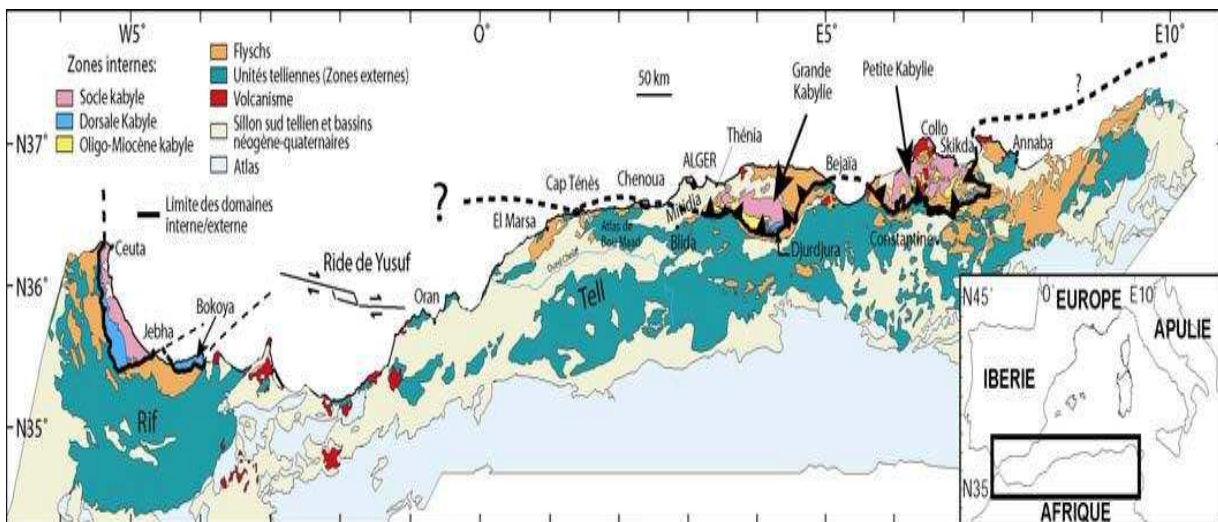


Figure II.6 : Position des différentes unités géologiques des Maghrébides (modifié d'après DOMZIG et al., 2006)

- Les zones externes de la chaîne, appelées zones telliennes en Algérie. Ces zones sont caractérisées par la présence des séries crétacées et paléogènes à dominance marneuse, généralement décollées de leur substratum jurassique. Ces séries découpées et empilées les unes sur les autres caractérisent les nappes telliennes.
- Les nappes de flysch. Ces nappes chevauchent les séries de nappes telliennes.
- Les zones internes qui chevauchent à leur tour les nappes de flysch, sont constituées par deux ensembles antérieurs au Miocène : (a) les massifs hercyniens et (b) les écaillés de terrains sédimentaires d'âge triasique à l'éocène.

L'étude de la chaîne de Maghrébides a permis de montrer qu'elle s'était formée sur l'emplacement d'un ancien bassin téthysien, le bassin Maghrébin, qui séparait l'Europe de l'Afrique à partir du Jurassique.

II.3.2. Contexte morphologique

Selon la description faite par Boutiba (2004), le secteur allant de la frontière algéro-tunisienne à Bejaia est dans l'ensemble très diversifié avec des avancées de la chaîne tellienne externe qui gagnent sur la mer. Plus à l'Ouest, les formations de roches dures du Jurassique, du Crétacé sont mises en relief dans tout le secteur du Cap Carbon dans la région d'Arzew. Seul le secteur de la Tafna, les îles Habibas et l'île Rachgoun compose un ensemble de roches volcaniques dures. Dans la basse Tafna (Rachgoun à Bled El Haouaria), la prédominance des plages localisées aux débouchés des oueds ou au pied des falaises est notée, et des falaises qui terminent la partie avale d'un plateau. Ces falaises sont soit des falaises vives (El Guedime) ou des falaises mortes (au Nord de l'embouchure d'oued El Hallouf). Entre Ténès et l'embouchure du Chelif (Figure II.7), les falaises dominent, et sont essentiellement formées dans les grès et les argiles du Miocène ou du Quaternaire.

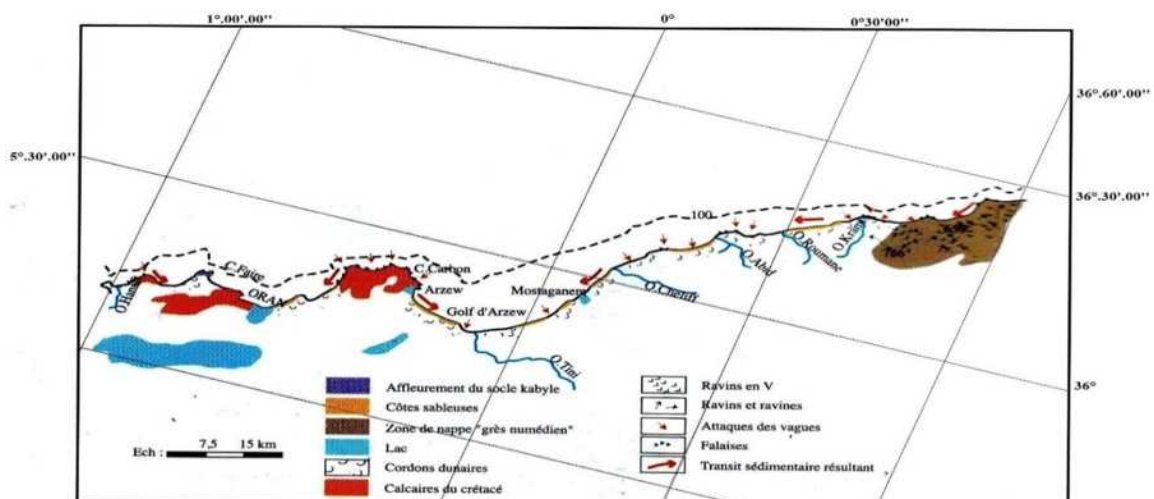


Figure II.7 : Esquisse morphologique du secteur Ténès-Oran (BOUTIBA, 2004).

Dans sa partie Est (Figure II.8), la côte est élevée et essentiellement rocheuse. Ces rivages sont taillés dans les affleurements de roches calcaires jurassiques présentant des falaises très escarpées et des échancrures occupées par de petites criques sableuses et de grèves. De Dellys à cap Matifou, la morphologie littorale est commandée par deux bassins néogènes : ceux de l'oued Sebaou et de l'oued Isser. La bande côtière est recouverte de formations du quaternaire. Entre cap Matifou et le massif cristallophyllien d'Alger, la baie d'Alger s'inscrit en creux. De Sidi-Fredj vers le mont Chenoua (baie de Bou-Ismaïl), se rencontre une succession de plages. Douaouda marine marque le début des falaises plus ou moins abruptes taillées dans des grès quaternaires. Du mont Chenoua à Cherchell se disséminent des falaises et zones rocheuses ainsi que des grèves et des plages à sédiments fournis par l'érosion des roches schisteuses du Dévonien. Dans le Chenoua, seuls les schistes épi-métamorphiques affleurent et correspondent à du Paléozoïque. Oued Mousselmoun (Ouest de Cherchell) termine cette succession de falaises (BOUTIBA, 2004)

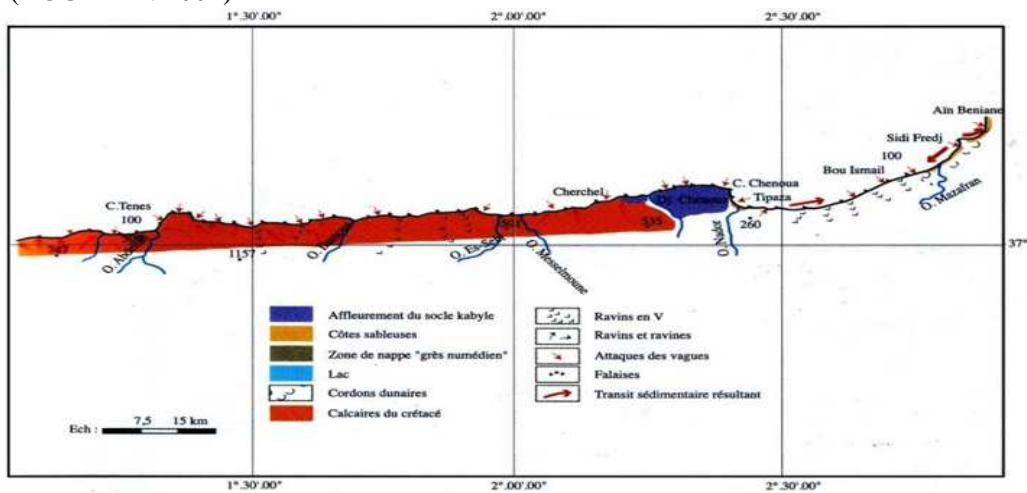


Figure II.8 : Esquisse morphologique du secteur Alger-Ténès (BOUTIBA, 2004).

De Dellys à Ras Bouak, la côte est très homogène, elle est taillée dans une épaisse série détritique formée de schiste et de grès crétacés et paléogène. Ces formations géologiques sont à l'origine d'une indentation du littoral (cap Tedles, Sigli) (Figure II.9).

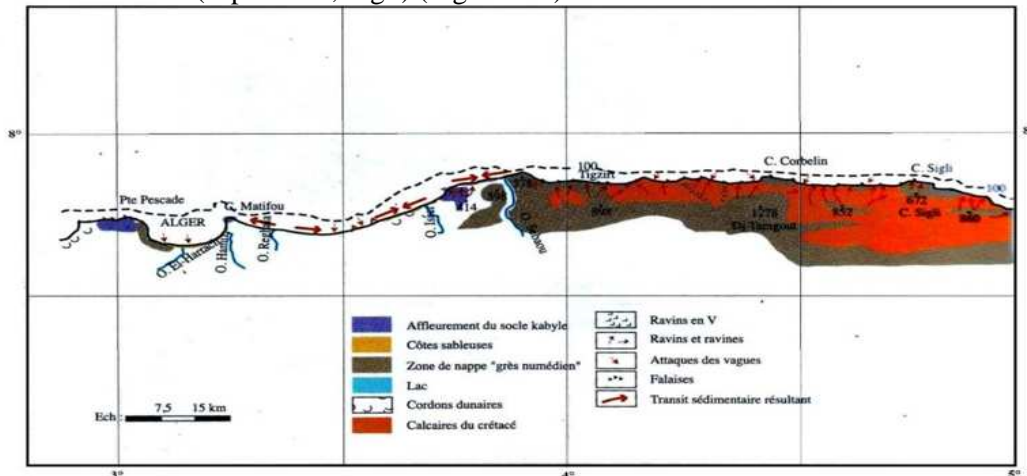
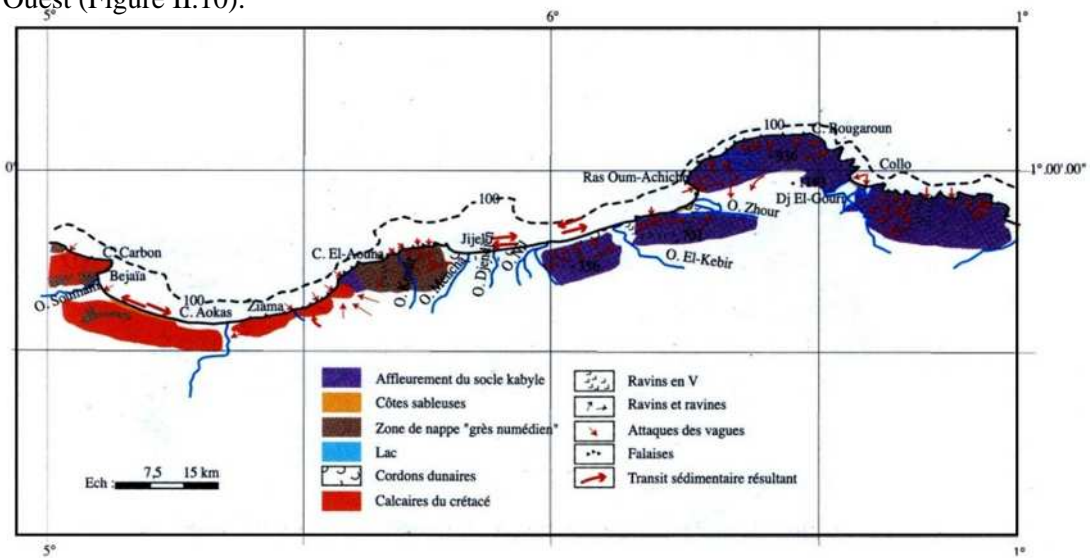


Figure II.9 : Esquisse morphologique du secteur Bejaia-Alger (BOUTIBA, 2004).

Ce secteur est caractérisé par un ensemble de falaises plus au moins élevées (<40 m) taillées dans les roches dures ignées et métamorphiques, dont les versants sont escarpés et couverts de sol et de végétation et dont la partie inférieure est battue par la mer. La structure géologique individualise des massifs rocheux, séparés par des vallées où coulent des oueds qui débouchent en mer. Les plages s'étendent au fond des baies, d'une largeur de quelques mètres à quelques dizaines de mètres, sont presque exclusivement sableuses. Les apports en éléments sableux sont le fait des oueds Seybouse, Kébir Est et Ouest (Figure II.10).



II.4. CARACTERISTIQUE HYDROLOGIQUE

Sur le plan hydrographique, l'Algérie du Nord qui se situe entre -2.23° et $+8.67^{\circ}$ en latitude et 32.74° et 37.12° en longitude, est constituée de dix-sept (17) grands bassins versants hydrologiques dont quinze (15) présentent un exutoire vers la Mer Méditerranée et déterminent ainsi un linéaire côtier de 1622 Km (Tableau II.1).

D'une manière générale, le réseau hydrographique est assez dense, conséquence d'une lithologie à forte fraction argileuse des terrains constituant les bassins versants (ANRH, 1993) (Figure II.12). Ce qui donne sur le plan des régimes hydrologiques : (i) une extrême irrégularité saisonnière et interannuelle des écoulements qui est accentuée par de longues périodes de sécheresse ; (I) des crues violentes et rapides ; (IV) une érosion intense et des transports solides importants (KADI, 1997).

Tableau II.1 : Bassins versants et principaux cours d'eau de l'Algérie du nord (l'apport moyen annuel de ces oueds est de 10.6 x10⁹ m³/an (MRE, 2010).

Bassins versants	Superficie Km ²	Apport (Hm ³ /an) Période moyenne	Principaux oueds
Côtiers Oranais Ouest	5831	50	Oued El Malah
Côtiers Oranais Centre			La grande Sebkha d'Oran
Côtiers Oranais Est			
Tafna	7 245	355	Oued Tafna
Macha	14 389	-	Oued El Hammam et Oued Mekerra
Chélif	43750	1540	Oued Chlef
Côtiers Algérois Ouest	11972	2850	Oued El Hachem, Oued Nadour, Oued Mazafran, Oued El Harrach
Côtiers Algérois Est			Oued Sebaou
Isser	4149	520	Oued Isser
Soummam	9125	700	Oued Soummam
Côtiers Constantinois Ouest	11 566	3 250	Oued Agrioun, Oued Djendjen, Oued Nil
Côtiers Constantinois Centre			Oued Guebli, Oued Safsaf
Côtiers Constantinois Est			Oued Mafragh, Oued Bounamoussa
KèbirRumel	8 815	910	Oued El Kebirr
Seybouse	6 475	459	Oued Seybouse

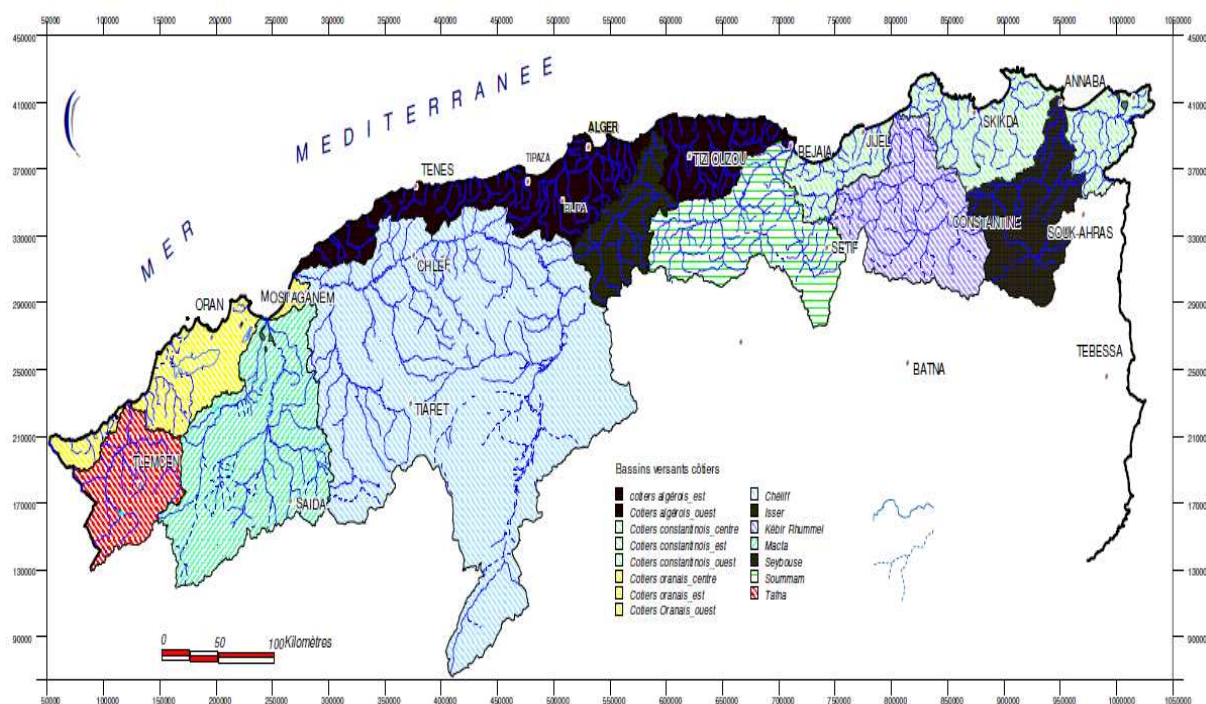


Figure II.11 : Carte des bassins versants littoraux et réseau hydrographique (Extrait du réseau hydrographique digitalisé par l'ANRH, 1993).

II.5. CARACTERISTIQUE CLIMATOLOGIQUE

Dans notre étude, nous intéressons aux régimes des vents, notant que l'étude des caractéristiques climatologiques est importante pour mieux comprendre le régime hydrodynamique qui influence la morphologie sédimentaire de nos zones d'étude.

II.5.1. Les vents

Pour une région côtière, la connaissance des régimes des vents est une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse (MOULIN. 1978). Ils jouent donc un rôle considérable dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux, surtout les côtes basses d'accumulations des régions à climat sec (BOUTIBA, 1996). Ce facteur joue un rôle considérable dans les transferts sédimentaires directement sur la partie aérienne et par les différents agents hydrodynamiques générés par celui-ci sur la partie immergée.

II.5.1.1. Le golfe d'Oran :

A partir des données établies par L'Office National de Métrologie, on obtient :

Trois directions principales apparaissent (Figure II.12) :

- Direction W avec une fréquence de 37%.
- Direction N.E avec une fréquence de 27%.
- Direction S.W avec une fréquence de 16%.

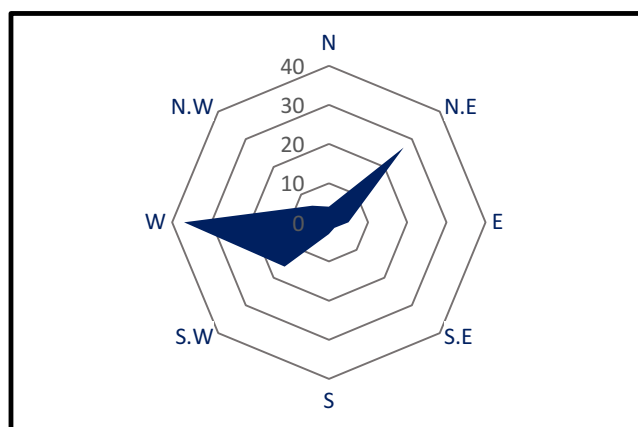


Figure II.12 : Rose des vents sur une période annuelle (1990 – 2010).

On remarque alors, une prédominance des vents venant de l'Ouest, du Nord – Est ainsi qu'au Sud – Ouest, sachant que les mois de sécheresse sont les mois de prédominance des vents Nord – Est. Il

existe par ailleurs des vents chauds ou (sirocco) provenant du Sud et Sud – Ouest, ce sont des vents secs et chauds de 09 à 16 jours par an (ONM, 2001).

II.5.1.2. La baie de Bou-Ismaïl :

Les mesures issues de l'Office National de météorologie indiquent que les vents soufflent environ 60 % du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que pendant 14 % du temps (Figure II.13).

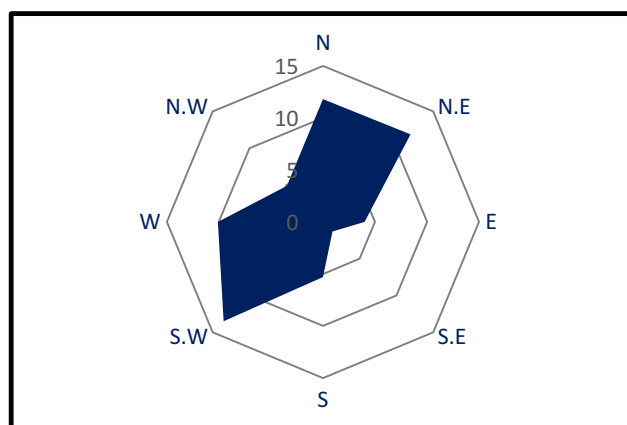


Figure II.13 : Rose des vents sur une période annuelle (1995 - 2005).

II.5.1.3. La baie d'Alger :

Le régime et la vitesse des vents dans la région d'Alger largement décrits dans le travail de MAOUCHE (1987) sont :

- les vents de secteur NE sont les plus fréquentes mieux marqués en été, leur vitesse se répartisse entre 1 et 30 nœuds.
- les vents de secteur O-SO, bien représentés eux aussi, soufflent principalement en hiver, de 6 à 10 nœuds.
- Les vents de secteur S-SE, les moins représentés, marqués en automne et en hiver, leur vitesse est de 6 à 10 nœuds.

Et selon les observations de L'ONM (Stations Dar El-Beida) entre les années (1984-2009), on distingue quatre directions :

- de Mai à Septembre : Nord par une fréquence 12% et Nord-est par 10%.
- de Octobre à Avril : Sud-ouest par une fréquence 14,5% Et Ouest par 11,5%.

II.5.1.4. Le golfe de Bejaia :

Le ressort des données recueillies dans la région de Béjaïa, que les régimes des vents sont influencés par le relief environnant en l'occurrence le Djebel Gouraya, les Babors et la vallée de la Soummam. Ces données caractéristiques des vents sont fournies par l'United States of Naval Weather Service Command (U.S.N.W.S.C).

En effet, les vents du secteur Ouest sont canalisés par la vallée de la Soummam qui leur donne son orientation Sud-Ouest – Nord Est : c'est « le vent de la Soummam ».

D'après les fréquences d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse pour chaque trimestre et pour toute l'année et selon les roses trimestrielles et annuelles des vents indiquées sur la (Figure II.14), on enregistre une prédominance des vents issus des directions W et NW avec des fréquences respectives de 29% et 7% pour les trois trimestres (hiver, printemps et automne).

Les directions N, E et NE sont aussi fréquentes mais avec des fréquences relativement faibles. Une grande partie des vents issus de ces directions ont des vitesses supérieures à 8 m/s.

Pour le troisième trimestre (estival), les directions de vent suscitées existent toujours, mais avec une nette prédominance des vents issus des directions E et NE avec des fréquences respectives de 31% et 22 %.

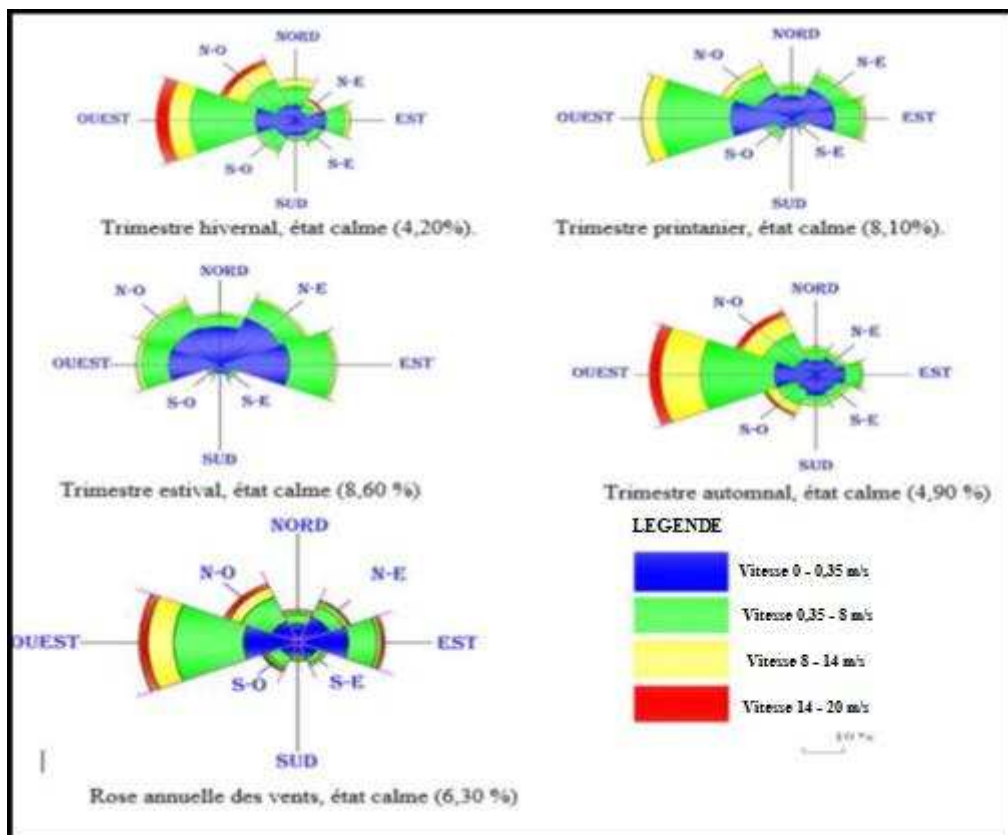


Figure II .14: Roses trimestrielles et annuelle des vents au large des côtes de Bejaïa (LEM, 1998).

II.5.1.5. Le golfe de Skikda :

En se basant sur des relevés de l'Atlas Océanographique de l'US. Naval Weather Service Command, La répartition de la fréquence de vents, en pourcentage, par intensité et direction est comme suit :

Tableau II.2 : La répartition de la fréquence des vents, en pourcentage, par intensité et direction.

Vitesse (m/s) /Direction	N	N.E	N.W	E	W
0,5 - 1,54	1,1	1	0,7	1,4	1
2,04 - 5,1	4,8	6,5	6,1	9,1	10,4
5,01 - 10,7	2,4	2,8	6,1	5,6	13,2
11,22 - 11,73	0,6	0,5	2,7	0,5	5,3
17,34 - 23,97	0,1	0	0,8	0,1	1,1
25	0	0,1	0,1	0	0

On remarque que pour le 1^{er}, 2^{ème} et 4^{ème} trimestre, les vents de l'Ouest sont dominants (plus de 30% du temps) et que pour une grande partie ces vents ont une vitesse supérieure à 8 m/s. Le 3^{ème} trimestre (juillet – septembre), est dominé par les vents d'Est et de Nord – Est mais la majorité de ces vents ont une vitesse faible.

De l'analyse de ces données, il ressort que deux secteurs de vent dominant :

- Le secteur Ouest à Nord – Ouest : 47,5%.
- Le secteur Nord à l'Est : 36,6%.

En ce qui concerne les vents supérieurs à 11 m/s nous avons :

- 6,4% pour la direction Ouest,
- 3,6% pour le Nord – Ouest,
- 0,7% pour le Nord,
- 0,6% pour le Nord – Est,

Pour les vents littoraux, les observations faites au cap de Garde sont sensiblement identiques à celles du large, celle des Salines en revanche, montrent une prédominance des vents du secteur Nord à Est susceptibles d'être à l'origine d'une surcote du niveau marin au de Skikda. Le massif de l'Edough joue, pour les observations au niveau des salines, le rôle d'un écran contre les vents de Nord – Ouest.

II.6. CARACTERISTIQUES HYDRODYNAMIQUES :

L'étude hydrodynamique nous permettra de déterminer le rôle des vagues et houles, sur la dynamique littorale ainsi que celui des courants.

II.6.1. La houle :

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petites fonds, la direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est supérieure à la longueur d'onde de la houle (BONNEFILLE, 1980).

La connaissance des caractéristiques de la houle au large (direction, amplitude, période, énergie...) permet de :

- Mieux analyser les constatations faites quant à l'évolution de littoral,
- Déterminer le dimensionnement des ouvrages de protection à réaliser,
- Mieux estimer le transit sédimentaire.

Les statistiques des houles dans la côte algérienne, font apparaître deux régimes (Figure II.15) :

- Les houles plus fortes sont hivernales, de direction Ouest dominante avec les plus grandes amplitudes (entre 1 et 3m) engendrant une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest
- En été, les directions dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes plus faibles et leur propagation est pratiquement parallèle à la côte (OUKAZI, 1993).

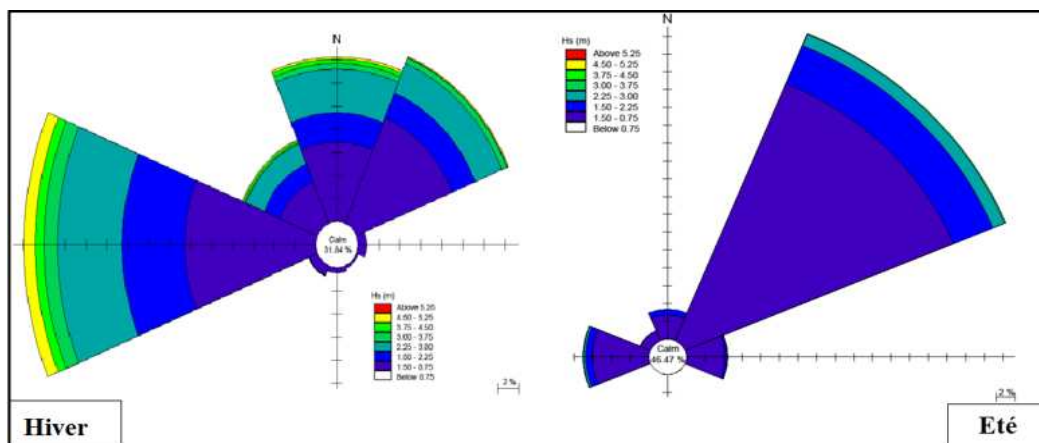


Figure II.15 : Rose des vagues au large de la côte Algérienne (CTH, 2008).

II.6.1.1. Le golfe d'Oran :

Les données de houle dans le large oranais sont les suivantes :

Tableau II.3: Hauteurs significatives (m) (LEM, 2015).

Période	Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
6	1,07	1,15	1,05	0,87	0,95	1,22	1,16	1,11
8	2,68	2,56	2,62	2,26	2,51	2,64	2,67	2,49
10	7,12	5,84	/	/	/	5,22	4,83	4,53

II.6.1.2. La baie de Bou-Ismaïl :

La baie de Bou-Ismaïl est une baie ouverte au large, face à toutes les directions de la houle ; ces houles n'ont pas le même effet sur la côte.

Pour étudier les houles qui agissent sur la baie, nous avons utilisé des données repris d'un document de l'U.S Naval Weather Command intitulé : « Summary of synoptic météorologique observation » (S.S.M.O tome 2. Zone Algeriers in M.A.DERGALI, 1998) et s'étalant sur la période de 8 ans (1963 – 1970).

Tableau II.4 : Fréquence mensuelle de la houle au large de la baie de Bou-Ismaïl par direction.

Mois/ Directions	N	E	N - E	S - E	S	S - W	W	N - W
Janvier	8,1	18,2	12,9	5	6,5	13,2	28,8	7,3
Février	8,8	12,6	10,3	4	6	16,9	35,6	5,8
Mars	11,3	15,8	12,6	3,6	4,5	13,3	30,5	9,2
Avril	11,7	16	15,3	2	4,4	13,7	26,6	10,2
Mai	8,4	31,9	26,3	3	3,3	7,2	13,9	5,2
Juin	9,2	29,8	29,1	1,8	1,4	8,2	16,3	4,2
Juillet	5,9	32,5	/32,5	1,4	0,9	5,9	16,2	2
Aout	8,9	35,1	27,7	1,9	1,1	5	13,4	4,9
Septembre	6,7	37,4	26,4	2,2	2,3	4,5	14,8	2,5
Octobre	7,8	40,5	14,1	3,2	4,3	14,8	28,8	6,9
Novembre	5,4	20,3	5,7	5,1	8	15,9	40,4	9,4
Décembre	10,2	9,3	6,2	4,5	7,4	15	37,1	10
Annuel	8,98	23,07	18,25	3,15	4,43	11,13	25,2	6,55

Les houles les plus importantes et les plus violentes en période hivernale (octobre – Mars), viennent de l'Ouest (vent dominant), avec des amplitudes de 2 à 2,5 m. Les amplitudes maximales sont de l'ordre de 4 à 6 m. ces houles arrivent perpendiculairement à la côte vers le large (KADRI MEZIANE, 1994 in M.A.DERGALI, 1998) (Figure II.16).

En période estivale (avril– septembre), l'agitation est moins importante et les houles les plus fréquentes sont, celles de secteurs Est à Nord – Est (vent dominant), avec des amplitudes généralement plus faibles de 0,5 à 1 m (BRAIK, 1987) et seulement 6% ont une amplitude supérieure à 1 m. L'orientation de ces houles est tangentielle par rapport à la côte (KADRI MEZIANE, 1994 in M.A.DERGALI, 1998) (Figure II.16).

Les houles des directions Sud – Est, Sud, Sud – Ouest n'ont aucun effet érosif le long de la côte de notre secteur d'étude.

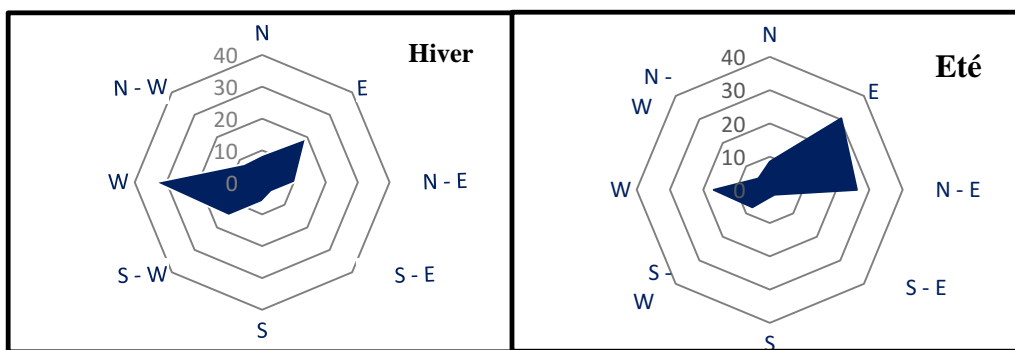


Figure II.16: Rose de la fréquence moyenne hivernale et estivale des houles par direction.

II.6.1.3. La baie d'Alger :

Au large des côtes de notre zone d'étude, la rose annuelle des houles (Figure II.18), montre que les agitations qui touchent la cote proviennent des secteurs Ouest, Nord – Ouest , Nord et Nord-Est. Les houles les plus fréquentes sont issues des secteurs Ouest (270° N) et Nord-est (60°N) avec des fréquences respectives de 12% ET 19% et des amplitudes maximales < 1,5m. Les fortes agitations avec des amplitudes supérieures à 3m sont moins fréquentes et proviennent essentiellement des secteurs Ouest et Nord-ouest (BOAKLINE.S, 2009).

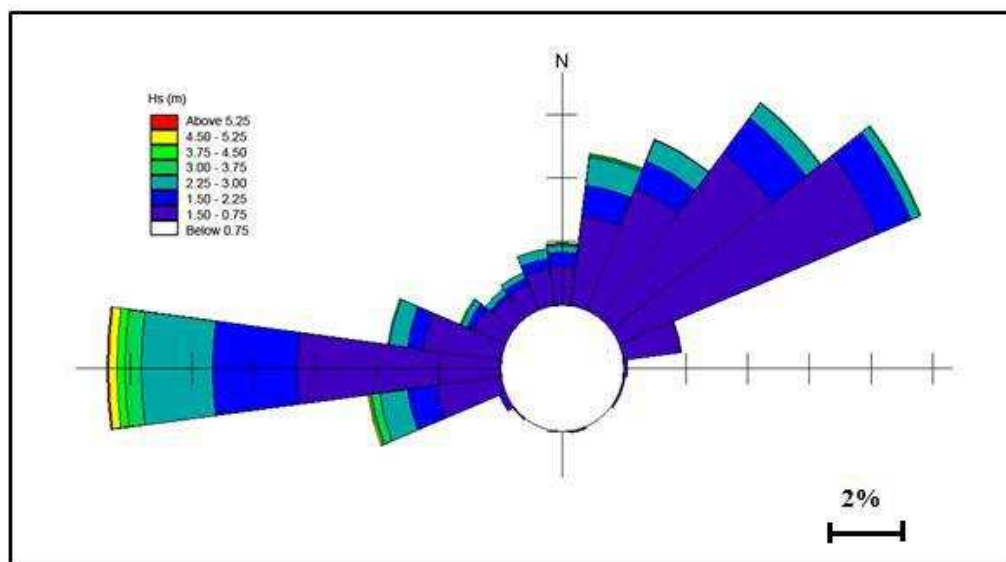


Figure I.17 : Rose annuelle des houles (CTH, 2008).

II.6.1.4. Le golfe de Bejaia :

- **La houle au large :**

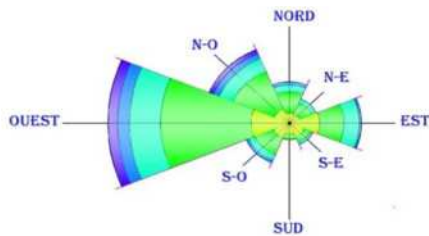
Les données de la houle au large sont celles de « SUMMARY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATION » (S.S.M.O, zone Annaba) .Ces Données s'étalent sur une période de 8 ans (1963-1970).

Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs prédominants de la houle et leurs amplitudes respectives (Tableau II.5) et de dresser les roses trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes Est-algériennes (Figure II.18).

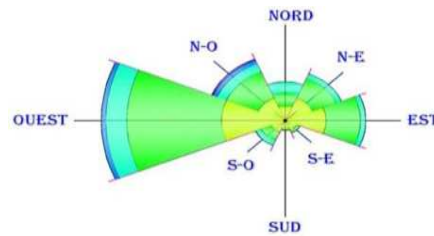
Tableau II.5 : Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions (S.S.M.O, Période : 1963 – 1970).

Mois	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
Janvier	11,5	7,2	16,4	30,8	14
Février	8,4	6	12,4	39,6	14,5
Mars	8,5	5,5	12,9	35,5	20,4
Avril	6,4	8,8	15,2	39,4	18,6
Mai	8,6	15,9	17,3	31,7	13,1
Juin	10,1	15,3	19,5	30,1	14,6
Juillet	12,3	19,8	22,5	20,1	17,1
Août	12,4	19,9	24,9	18,5	16,9
Septembre	12	14,2	29,2	17,7	15,8
Octobre	8,2	11	19	30,4	11,1
Novembre	4,2	3,6	7,9	40,1	19,6
Décembre	6,7	4,5	6	38,6	19,2

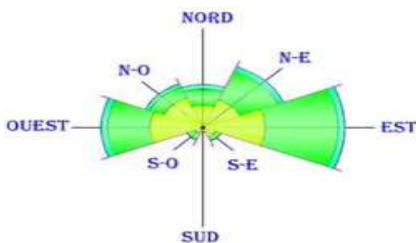
- Les houles de l'Ouest, de l'Est et du Nord-Ouest sont les plus fréquemment observées avec des fréquences de 40,1% ; 29,20% et 20,40% respectivement ;
- Sur une phase annuelle, les houles d'Ouest sont prédominantes avec une fréquence de 40,1% ;
- Les houles des secteurs Nord et Nord-Est sont les moins observées avec des fréquences de 4,20% et 3,60% respectivement.



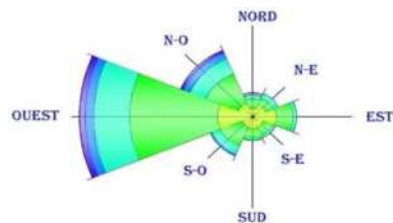
Hivernal, état calme (11,10 %)



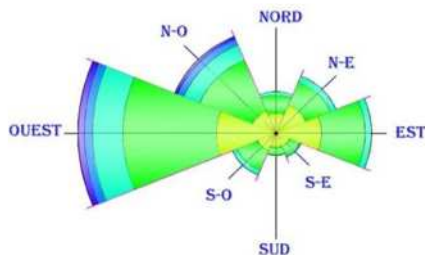
Printanier, état calme (19,30 %)



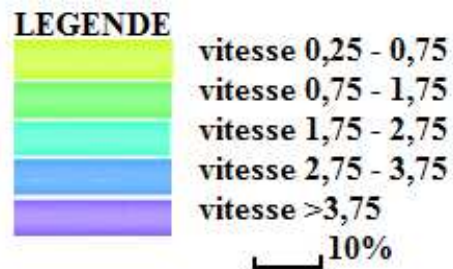
Estival, état calme (20,10 %)



Automnal, état calme (12,50 %)



Rose annuelle des houles, état calme (15,50 %)

**Figure II.18** : Roses trimestrielle et annuelle de la houle, (L.E.M, 1998).

En hiver, les houles prédominantes sont de secteur Ouest / Nord-Ouest pour plus de 80 % avec une période moyenne de 8 à 9 secondes, des périodes supérieures à 10 jusqu'à 13s sont relevées lors de grandes tempêtes.

Les longueurs d'onde des houles d'Hiver les plus fréquentes sont de 150 m à 170 m avec une célérité de 14 m/s. Par « gros temps », les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde de 200 m et célérité de 17 m/s. Dans ce cas, la profondeur de déferlement peut-être estimée entre 6 et 9m.

Les houles d'été de direction Nord / Nord-Est se caractérise par une amplitude de 0.5m à 1.5 m, 50% de ces houles ont une période de 6 à 9 s et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitude. L'amplitude moyenne est de 2 à 3m, des amplitudes maximales peuvent atteindre 4 à 6m. La longueur d'onde des houles d'Été de 6 s est de 130 m et la célérité de 10 m/s.

- **La houle à la côte :**

L'analyse de la réfraction des houles de périodes 6, 8 et 10 secondes issues des secteurs N360°, N45° et N330° révèle que le coefficient de réfraction K_r et la direction de la houle, mesurés à une profondeur de 15 m environ, varient comme suit (Tableau II.6).

Tableau II.6 : Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (LEM, 1998).

Fréquence	Période de retour (ans)	360° Nord	45° Nord	330° Nord
Biennale	2	4,56 m	3,49 m	3,84 m
Quinquennale	5	5,43 m	4,09 m	4,41 m
Décennale	10	6,09 m	4,53 m	4,84 m
Vingtennale	20	6,75 m	4,98 m	5,27 m
Cinquantennale	50	7,63 m	4,57 m	5,84 m
Centennale	100	8,28 m	6,01 m	6,26 m

Il ressort du tableau que la hauteur des houles qui atteignent la côte est inversement proportionnelle aux fréquences d'apparition de celles-ci.

II.6.1.5. Le golfe de Skikda :

Concernant les mouvements de la houle dans ce golfe, en l'absence de données directes sur le site, les résultats de houles ont été synthétisés à partir de 16070 observations étalées sur 20 ans, correspondant à la période 1961-1970 et 1971-1980, enregistrées au large de Skikda par des navires marchands et stockées par le KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) (In HOCINI et al.,1991).

Selon les observations du KNMI, nous pouvons conclure que Skikda se caractérise par une prédominance des houles de direction Nord-Ouest à Nord en fréquence d'apparition et en amplitude avec les houles Nord-Nord Est à Nord Est (N010° à 050°) représentant annuellement 15% des cas; dont 36% ont une amplitude supérieure à 1m, dépassant rarement 4 m et les houles Nord-Ouest à Nord représentent 39% des cas, dont 58% ont une amplitude supérieure à 1m. Celle-ci peut dépasser 6 m, voir même 8 m

II.6.2. Les courants :

Les courants sont responsables de l'état dynamique de sédiment, (érosion ; transport et sédimentation).

a) Les courants généraux :

Les vitesses du courant général des eaux atlantiques venant de Gibraltar vers l'Est restent généralement dans un ordre de grandeur de 0.5 à 1 m/s au large des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis, en prenant le nom « courant Algérien ».

II.6.3. La Marée :

La marée a une amplitude généralement faible en Méditerranée mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. En pleine lune elle peut atteindre 25 à 30 cm en moyenne, et celle de la nouvelle lune varie de 5 à 15 cm. D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches, etc.

Chapitre III

Etude bathymétrique et hydrodynamique des zones d'étude

Chapitre III

Etude bathymétrique et hydrodynamique des zones d'étude

INTRODUCTION

C'est dans ce cadre que s'inscrit la première partie de ce travail qui sera consacrée à l'utilisation du modèle numérique Mike 21 pour étudier la propagation de la houle des zones d'étude. Cette partie sera consacrée respectivement à :

- L'étude bathymétrique.
- La modélisation de la réfraction des houles.

III.1. ETUDE BATHYMETRIQUE

L'étude bathymétrique est une étude primordiale dans notre domaine afin de reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine, pour cela nous avons procédé à une analyse bathymétrique selon deux méthodes pour essayer d'obtenir un résultat fiable et précis.

La bathymétrie de nos zones d'étude a été obtenue selon les méthodes suivantes :

1. GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) est une organisation sous l'égide de la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO et de l'Organisation Hydrographique Internationale visant à fournir des données bathymétriques pour l'ensemble des océans. Les données fournies sont principalement basées sur des mesures acoustiques réalisées depuis des navires et complétées par des données satellite (radar altimétrique).
2. Les cartes marines fournies par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT) à l'échelle 1/120 000, qui nous permettra de gérer la bathymétrie carroyée en haute définition.

Ces derniers, nous ont permis d'obtenir la profondeur et la position de chaque zone d'étude donc des coordonnées géographiques et une profondeur (XYZ).

III.1.1. Méthodologie suivie

III.1.1.1. L'exploitation de la GEBCO sous MATLAB

L'accès aux grilles GEBCO One Minute Grid a été fait via une interface cartographique (http://www.marine-geo.org/tools/GMRTMapTool/). Une étendue a été choisie (via un rectangle sur la carte ou en entrant directement des coordonnées) en format netCDF puis télécharger (Figure III.1).



Figure III.1 : Interface cartographique de la marine géoscience (GEBCO).

Une étape préliminaire consiste à traiter les données bathymétriques maillées de la GEBCO sous MATLAB afin d'en sortir le X (Latitude), le Y (Longitude) et le Z (Profondeur) ainsi de tracer la carte bathymétrique. Un programme a été créé (Figure III.2).

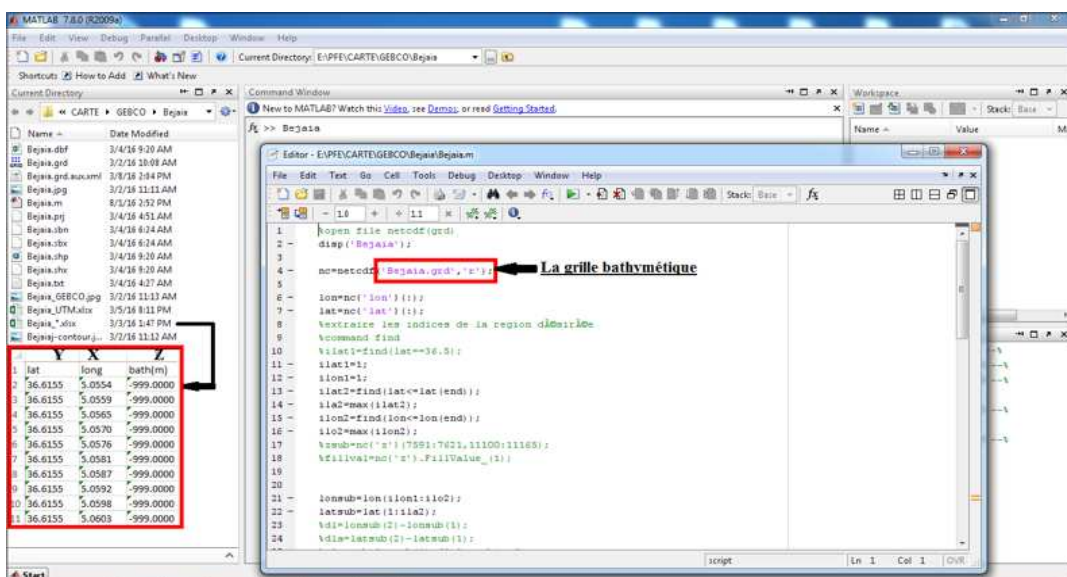


Figure III.2 : Traitement de la GEBCO One Minute Grid sous MATLAB.

Après l'exécution du programme, la bathymétrie obtenue présente des valeurs comprises entre -200 m et 2200 m 'cas d'exemple' (Figure III.3).

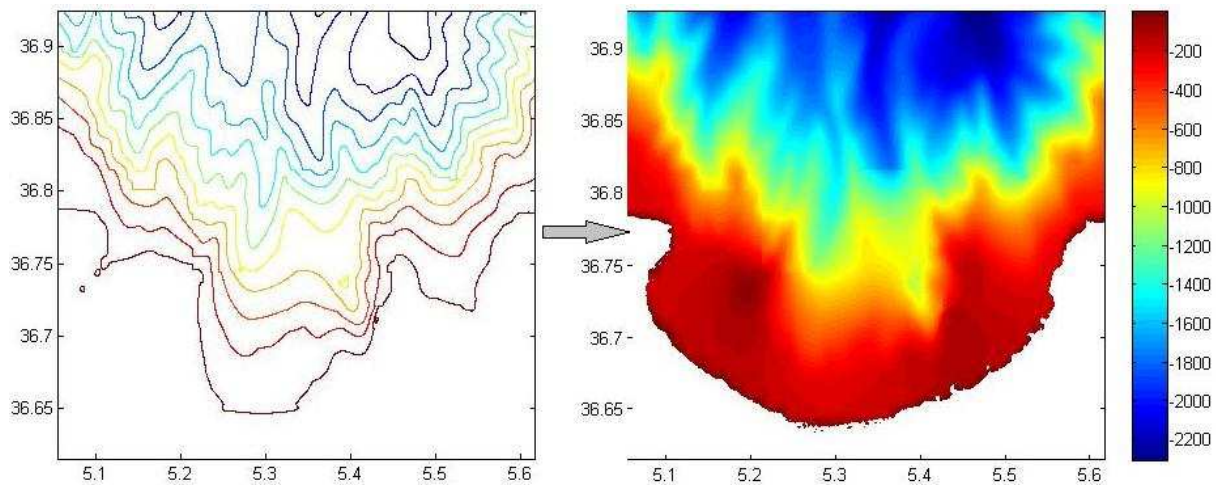


Figure III.3 : Carte bathymétrique d'un cas d'exemple sous MATLAB.

On s'est aperçue que la GEBCO donne une bonne impression générale de la bathymétrie mais n'est plus assez précise quand on se rapproche des côtes, c'est à dire son utilisation se limite toujours à des cartes à grande échelle. C'est pour cela, nous avons procédé à une autre méthode afin d'obtenir un résultat plus fiable et précis.

III.1.1.2. L'exploitation des cartes marines sous MIKE 21

MIKE 21 est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique 2D des écoulements à surface libre, développée par DHI Water & Environment.

Il permet la simulation de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans. MIKE 21 est ainsi particulièrement adapté pour traiter des problèmes relevant des principaux domaines d'application suivants : l'hydraulique fluviale, l'hydraulique environnementale (qualité), les processus sédimentaires, l'hydraulique côtière et l'océanographie, la houle.

Sous MIKE 21, les cartes marines de nos zones d'étude ont été géoréférencé sous le système de coordonnées projetées WGS84_UTM. Les isobathes affichées sur ces cartes ont été digitalisé à l'aide de l'extension '*set current contour level*', puis enregistré au format .XYZ (fichier texte 'DOS') afin d'en sortir la latitude, la longitude et la profondeur (Figure III.4).

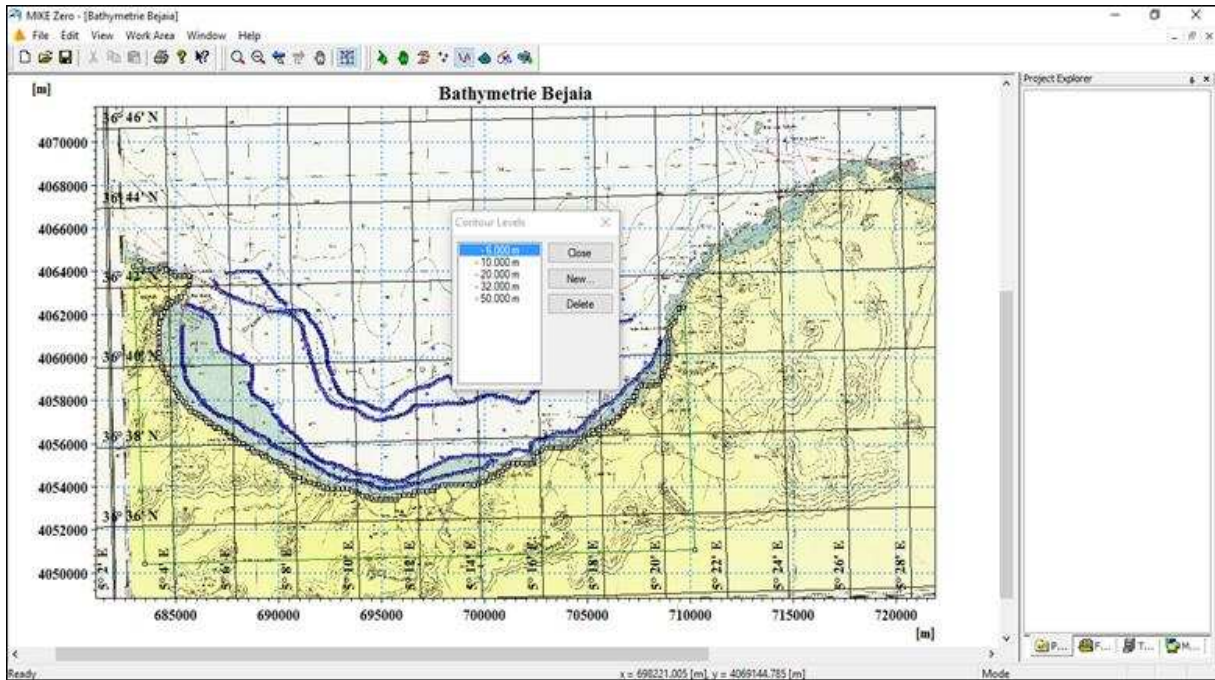


Figure III.4 : Digitalisation des isobathes sous Mike 21.

Après la préparation des données bathymétriques, le module ‘*Mesh Generator*’ a été utilisé afin d’importer ces données, ainsi de définir l’espace du travail sous MIKE 21. Le maillage issu est composé d’éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques et la précision souhaitée. (Figure III.5).

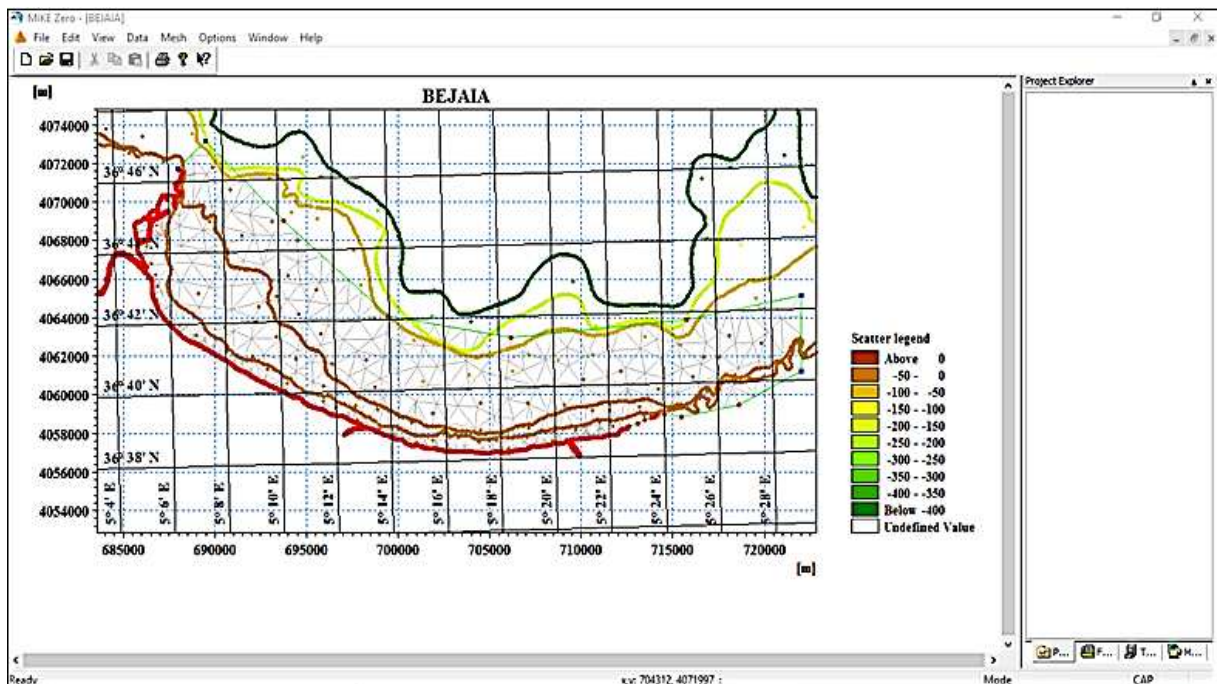


Figure III.5 : Maillage du Mesh Generator sous MIKE Zero.

La carte bathymétrique du modèle est obtenue par interpolation des sondes bathymétrique et des levés topographique sur le maillage ainsi défini, à l'aide de l'outil 'Interpolate' de l'extension 'Mesh' sous MIKE Zero (Figure III.6).

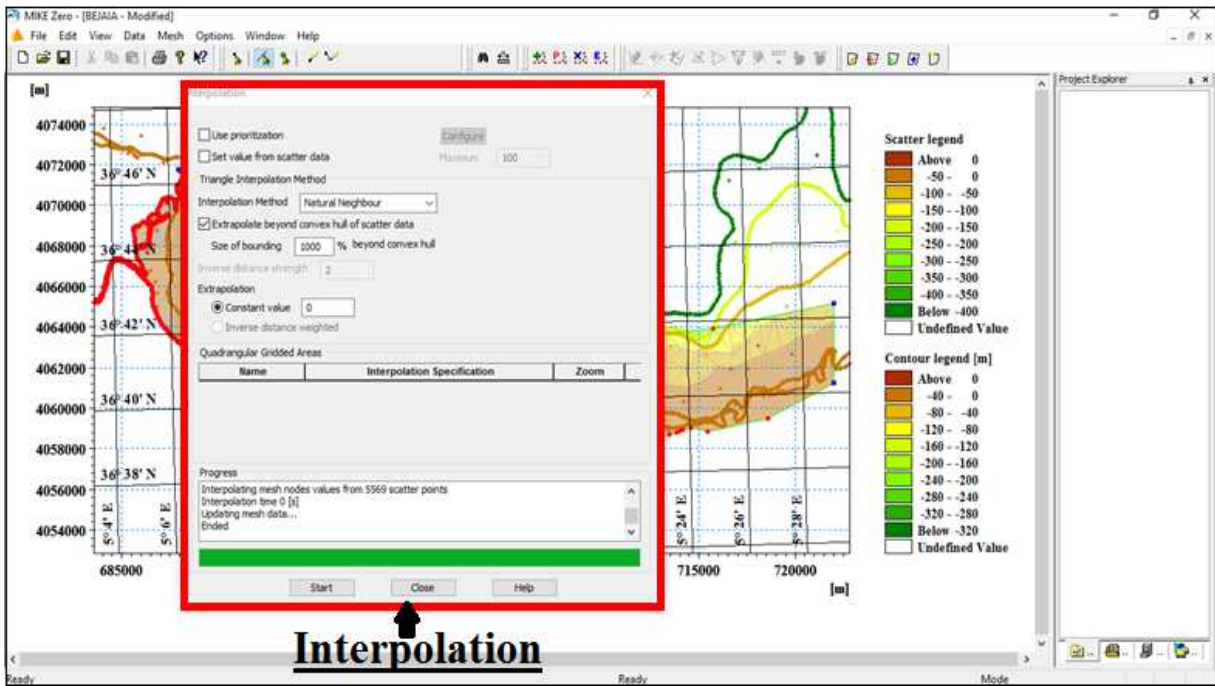


Figure III.6 : Exemple d'interpolation sur une zone d'étude.

La bathymétrie obtenue présente des valeurs comprises entre -8 m et -112 m 'cas d'exemple' (Figure III.7)

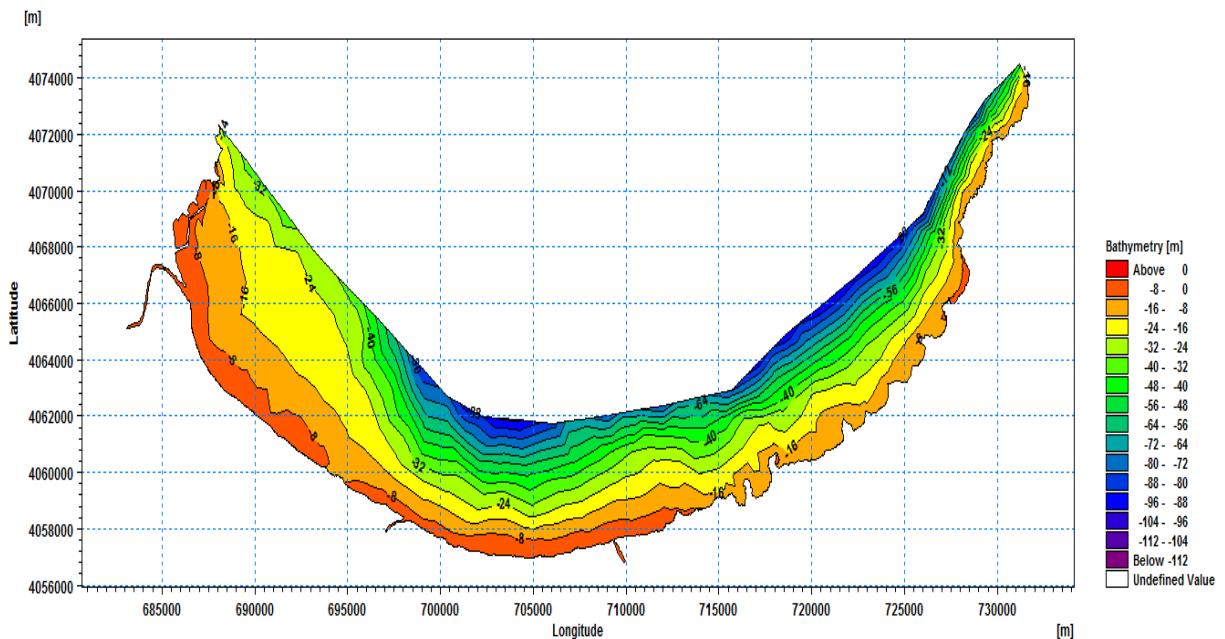


Figure III.7 : Carte bathymétrique d'un cas d'exemple sous MIKE 21.

L'application du modèle bathymétrique sous MIKE 21 apporte plus et suffisamment de précision par rapport à celle de la GEBCO. C'est pour cela, cette méthode a été adoptée sur le reste de nos zones d'étude afin de mener à bien notre étude.

III.2. ETUDE HYDRODYNAMIQUE

La connaissance des conditions de houle à la côte est nécessaire pour quantifier leur contribution aux niveaux marins. C'est pourquoi pour connaître ces houles, il est nécessaire de calculer au moyen d'un modèle numérique la propagation et la génération des houles depuis le larges, où elles sont connues, jusqu'au littoral. Le modèle numérique a été réalisé à l'aide du module Mike 21 SW (Spectral Waves).

➤ Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 Spectral Waves FM (Figure III.8). Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Bathymétrie ;
- Des séries temporelles fournies par l'ONSM (temps d'enregistrement, date, heure et élévation Hs ;
- Directions des houles dominantes ;

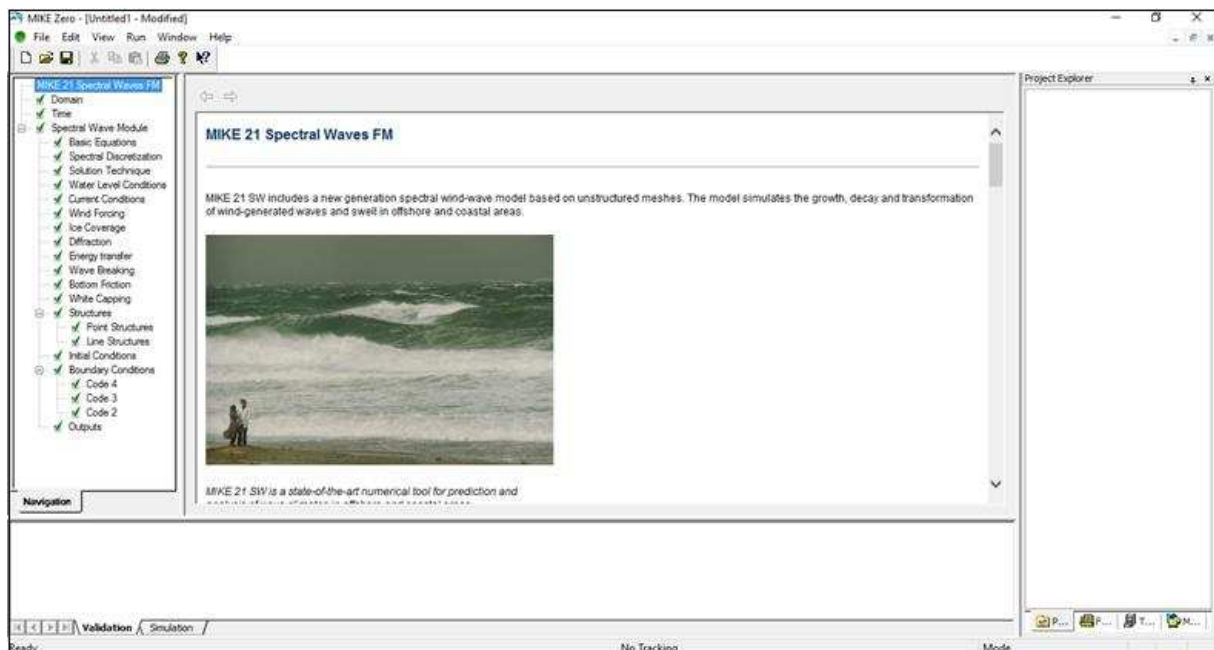


Figure III.8: Le concept du modèle de MIKE Spectral Waves FM.

Après avoir introduit la bathymétrie et la série temporelle (Figure III.9) et définir les conditions limites, la simulation a été lancée. La durée d'un effort de simulation varie entre 1 à 2 jours, selon la complexité des objectifs, des processus impliqués et de leur saisonnalité.

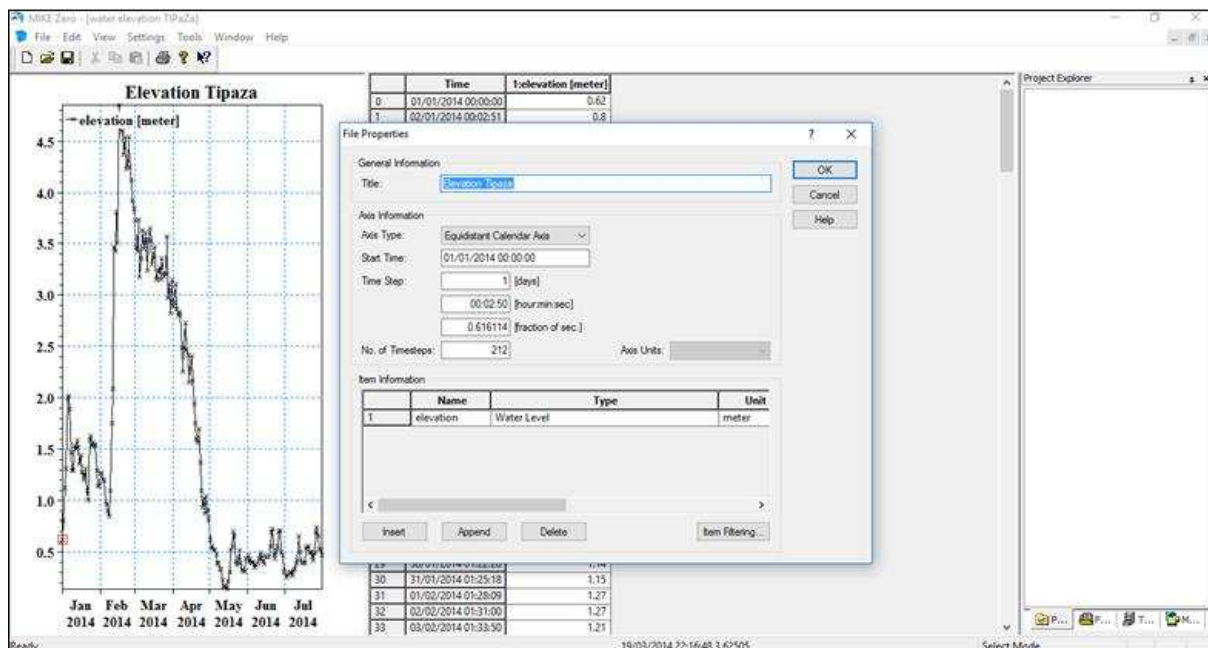


Figure III.9: La série temporelle du modèle de MIKE Spectral Waves FM.

III.3. RESULTATS

III.3.1. LE GOLFE D'ORAN

La bathymétrie obtenue pour le golfe d'Oran présente des valeurs comprises entre -6 m et -84 m. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Une zone a été choisie sur ce littoral (Figure III.10).

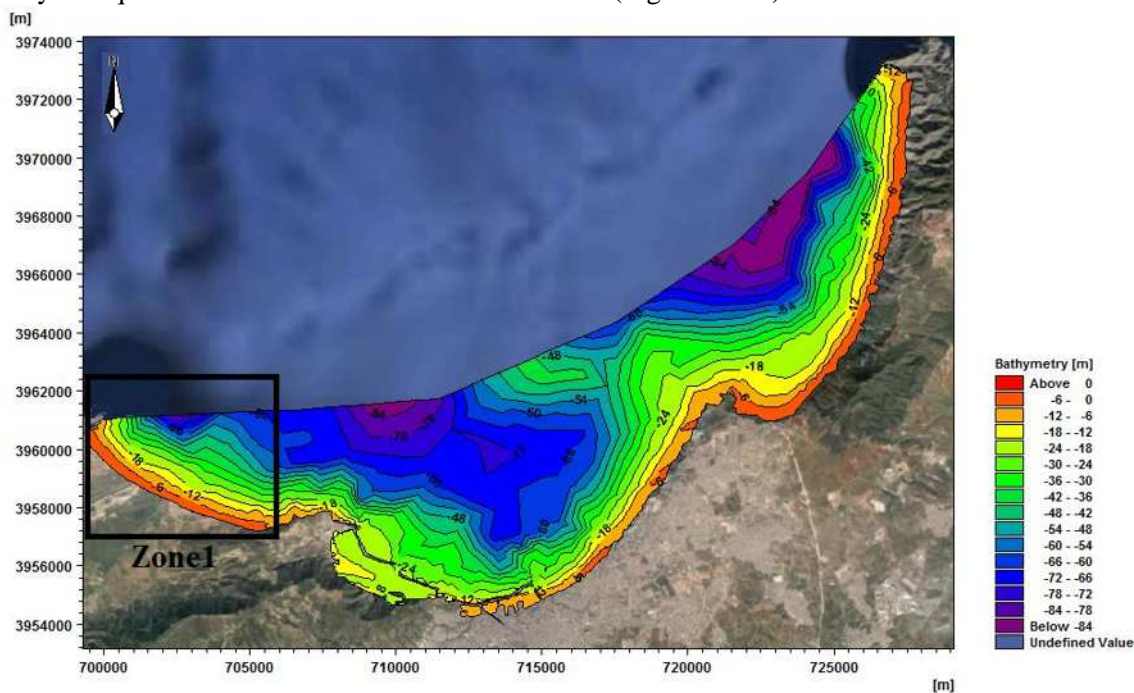


Figure III.10 : Carte bathymétrique du golfe d'Oran.

III.3.1.1. La partie Ouest du golfe d'Oran (Zone 1)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont un peu plus espacées. Cependant l'extrémité Ouest de la zone d'étude présente une barre sous-marine et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières traduisant une pente plus douce (Figure III.11).

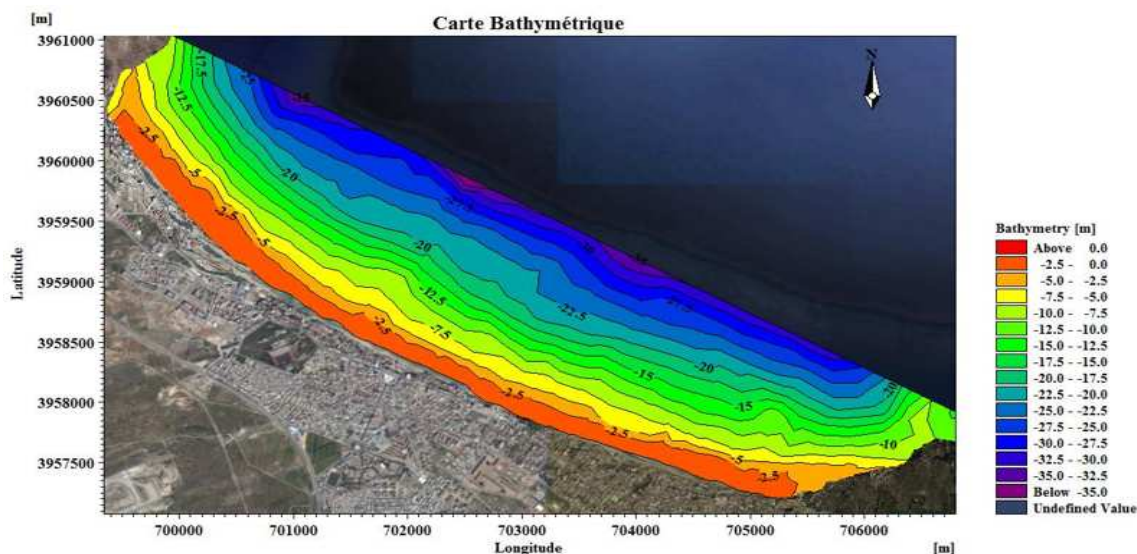
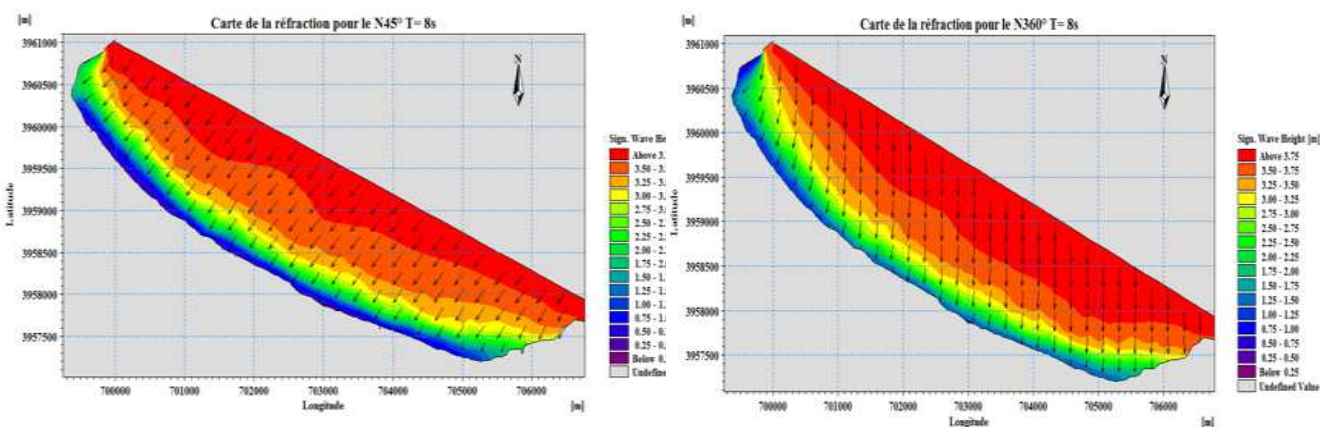


Figure III.11 : Carte bathymétrique de la partie Ouest du golfe d'Oran (Zone 1).

- *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Cap Falcon, Les Dunes, Ain El-Turk et Trouville) est exposée aux houles des secteurs Nord-Est, Nord et Nord-Nord-Ouest (Figure II.12). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Est et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.



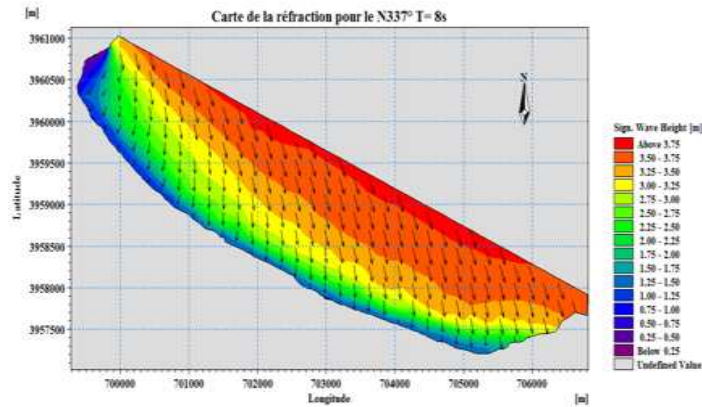


Figure III.12 : Plan de propagation de la houle de la partie Ouest (Zone 1) du golfe d’Oran.

Les houles des secteurs Nord et Nord-Nord-Ouest qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées, avec un coefficient de réfraction moyen de 0,91 et subissent l’influence du Cap Falcon. Tandis que les houles du Nord-Est ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,65 à 5 m de profondeur peuvent générer des courants littoraux et entraîner l’érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,75 m et 0,25 m du large vers la côte.

III.3.2. LA BAIE DE BOU-ISMAIL

La bathymétrie obtenue pour la baie de Bou-Ismaïl présente des valeurs comprises entre -8 m et -104 m. Bien que l’étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Deux zones ont été choisies sur ce littoral (Figure III.13).

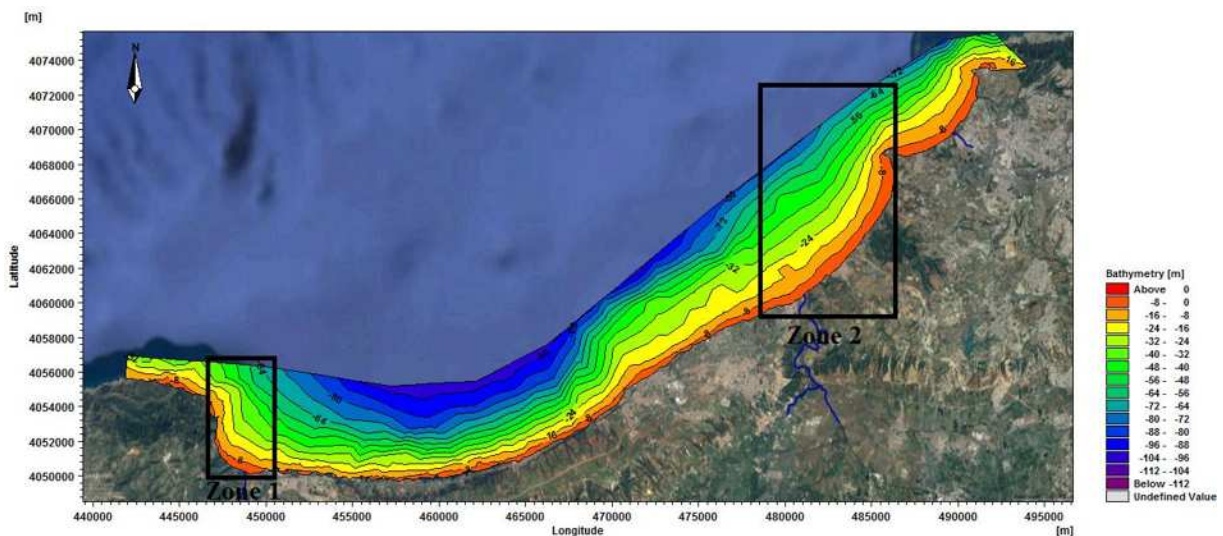


Figure III.13 : Carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl.

III.3.2.1. La partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1)

▪ *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique de notre première zone d'étude montre des isobathes plus ou moins régulières, espacées et parallèles à la côte. La morphologie sous-marine dans la partie Ouest de la zone d'étude (plage Chenoua et Grand bleu) est légèrement chahuté jusqu'à -20 m, par contre la partie Est de cette zone (plage Matares) présente des isobathes plus espacées (Figure III.14).

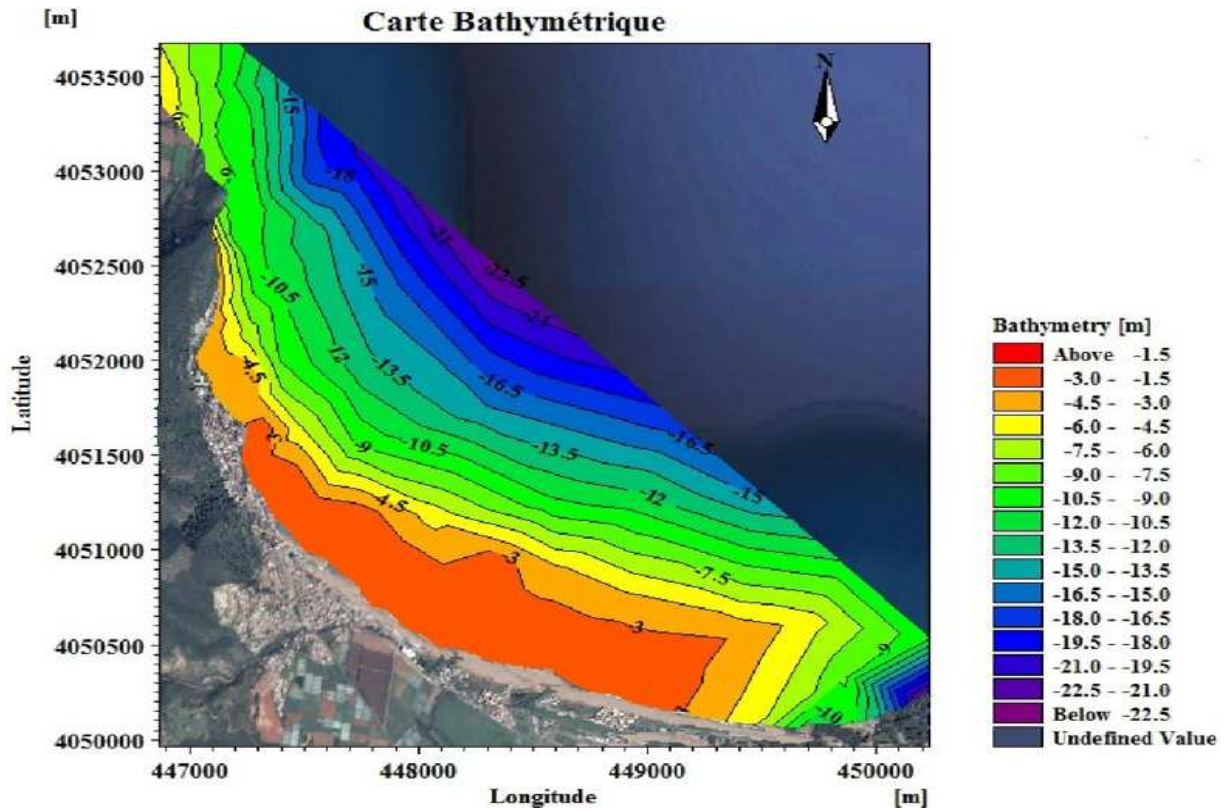


Figure III.14 : Carte bathymétrique de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Chenoua plage, Grand bleu et Matares) est exposée aux houles des secteurs Nord, Nord-Est et Nord-Ouest (Figure III.15). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Est et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord-Ouest et celles du Nord qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées (coefficient de réfraction moyen de 0,63) et subissent l'influence du Cap Chenoua. Tandis que les houles du Nord-Est ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,57 à 5 m

peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant les houles significatives arrivant du Nord-Est (entre 1 m et 3,8 m) ont des hauteurs plus élevées par rapport aux autres directions.

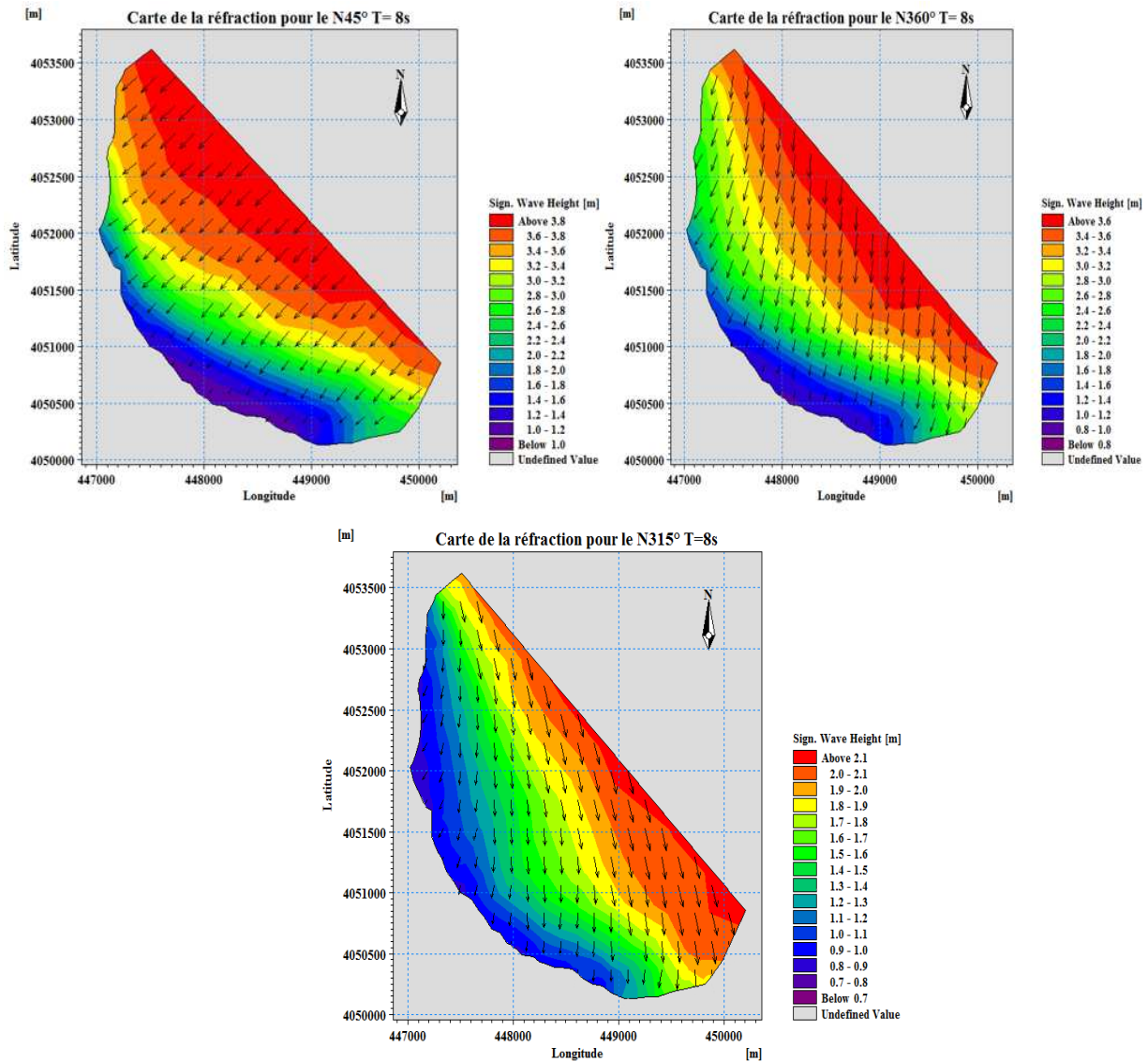


Figure III.15 : Plan de propagation de la houle de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1).

III.3.2.2. La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant la partie Ouest de cette zone présente une barre sous-marine et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières traduisant une pente plus douce (Figure III.16).

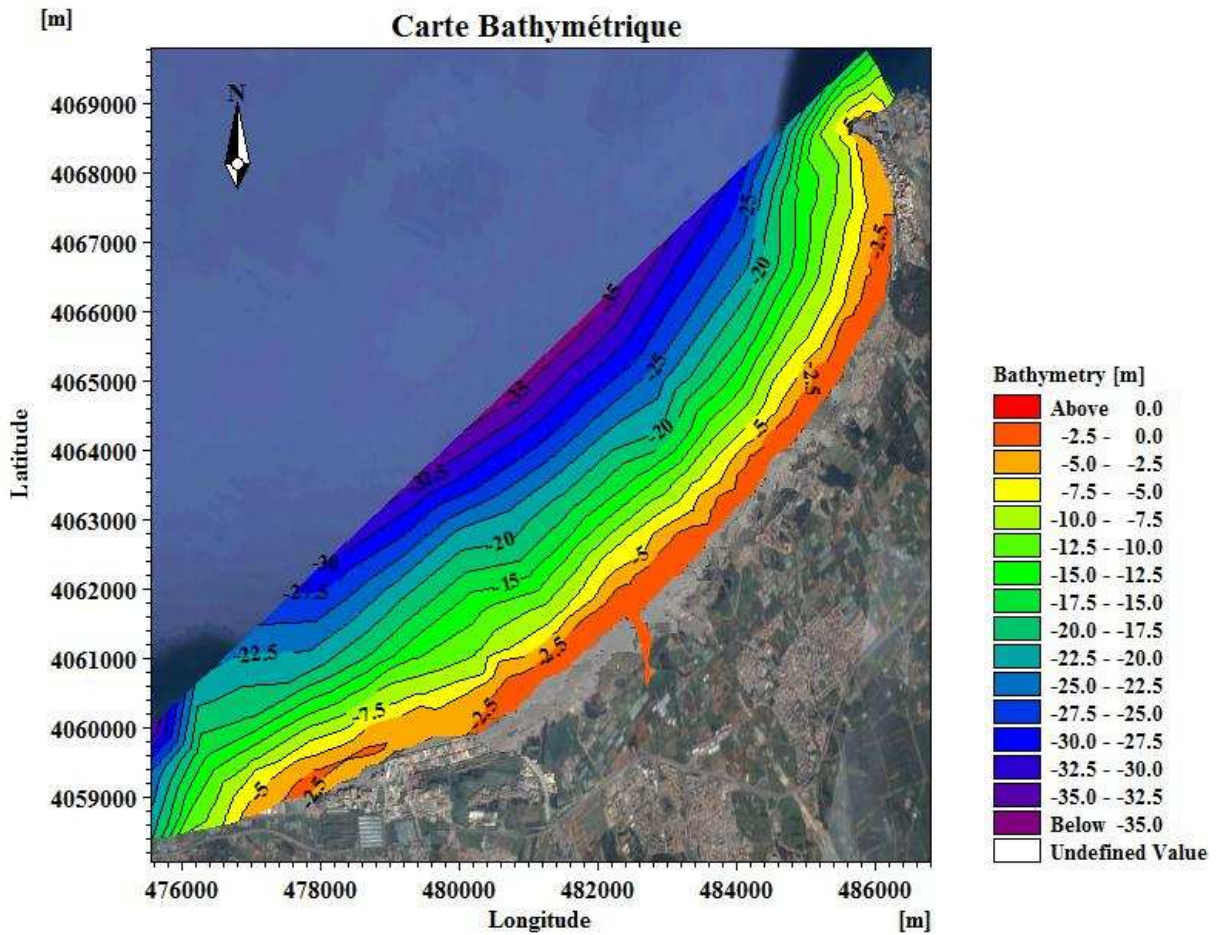


Figure III.16 : Carte bathymétrique de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Douaouda, El Khaloufi, Complexe touristique, Sable d'Or, Azur, Palm Beach et Plage Ouest de Sidi Fredj) est exposée aux houles des secteurs Nord-Nord-Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes (Figure III.17).

Les houles du Nord et Nord-Nord-Est sont moyennement réfractées par le cap caxine, perdant une partie de leurs énergies du large, le coefficient de réfraction moyen varie entre 0,3 et 0,52. Tandis que les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen est de 0,7 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant les houles significatives varient entre 3,75 m et 0,25 m du large vers la côte.

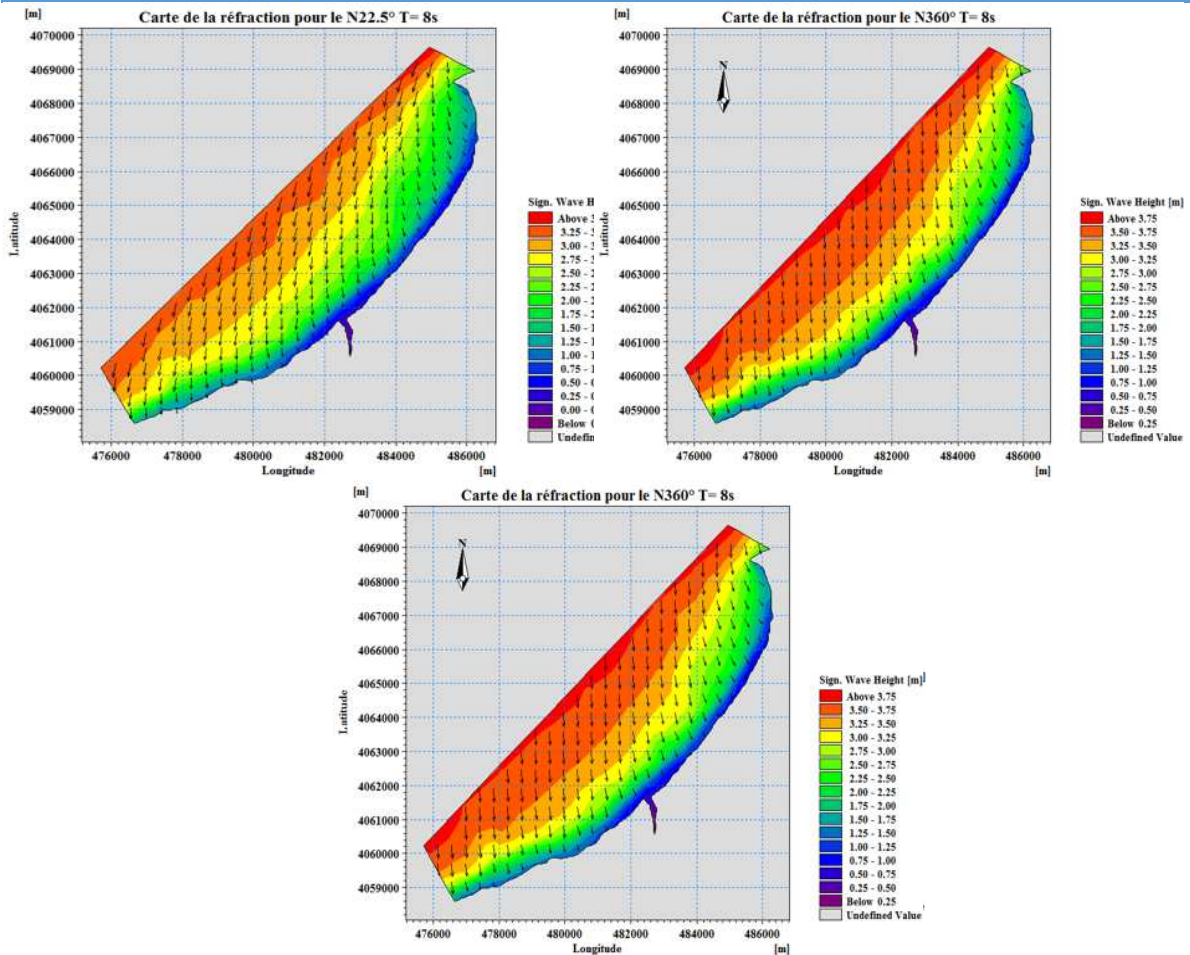


Figure III.17 : Plan de propagation de la houle de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2).

III.3.3. LA BAIE D'ALGER

La bathymétrie obtenue pour la baie d'Alger présente des valeurs comprises entre -5 m et -70 m. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Quatre zones d'étude ont été choisies sur ce littoral (Figure III.18).

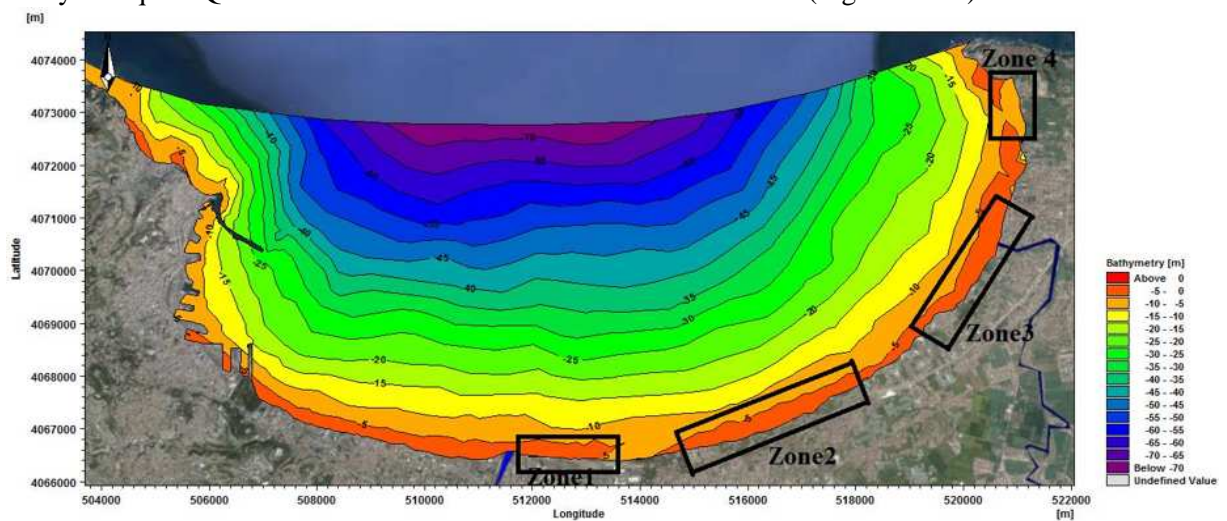


Figure III.18 : Carte bathymétrique de la baie d'Alger.

III.3.3.1. La partie Centre de la baie d'Alger (Zone 1)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins irrégulières, espacées et parallèles à la côte. La morphologie sous-marine présente des barres jusqu'à -9 m et ce n'est que à partir de cette profondeur que les équidistances entre les isobathes deviennent égaux et plus régulières traduisant une pente douce (Figure III.19).

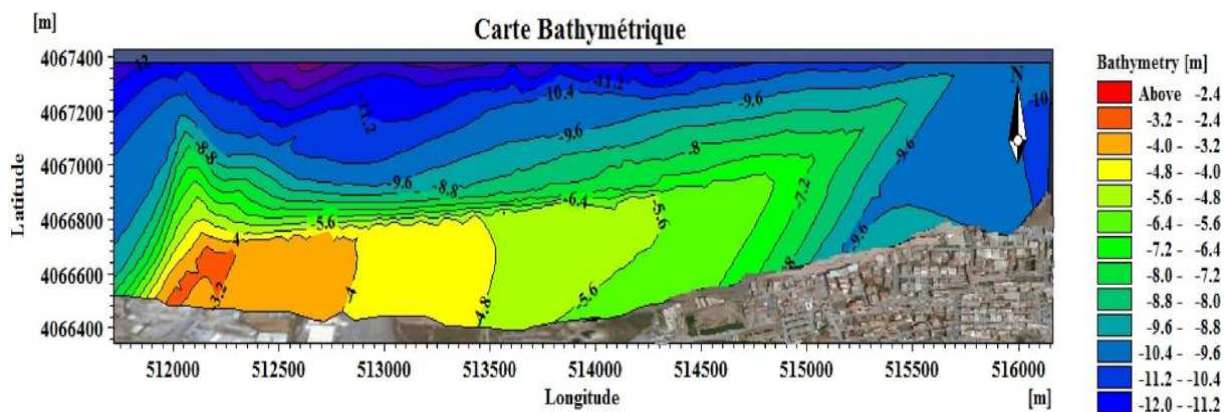


Figure III.19 : Carte bathymétrique de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone1).

- *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que (Mazella et Pins Maritimes) est exposée aux houles des secteurs Nord-Nord-Est, Nord et Nord-Ouest (Figure III.20). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

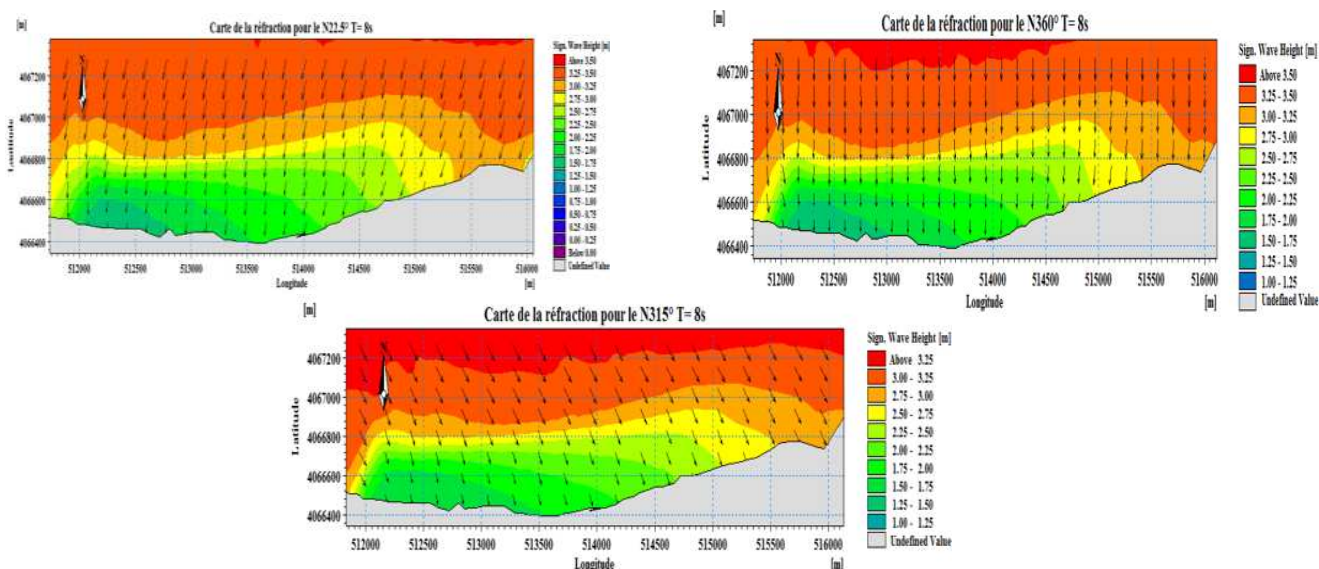


Figure III.20 : Plan de propagation de la houle de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone 1).

Les houles du Nord-Nord-Est et Nord-Ouest qui arrivent en oblique à la côte sont très peu réfractées. Tandis que celles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte. Ces trois directions dominantes gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 0,8 et 1.04 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient de 3,5 m du large vers la côte.

III.3.3.2. La partie Centre de la baie d'Alger (Zone 2)

▪ *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique relève un fond marin assez régulier qui se traduit par des isobathes parallèles à la côte. Dans la partie centre de la zone d'étude, les isobathes sont serrées jusqu'à -9 m par rapport aux deux extrémités et ce n'est qu'à partir de cette profondeur que ces isobathes redeviennent plus régulières et parallèles à la côte. Cependant la partie centre de cette zone présente une barre sous-marine. Au-delà de -2 m les isobathes redeviennent plus douce (Figure III.21).

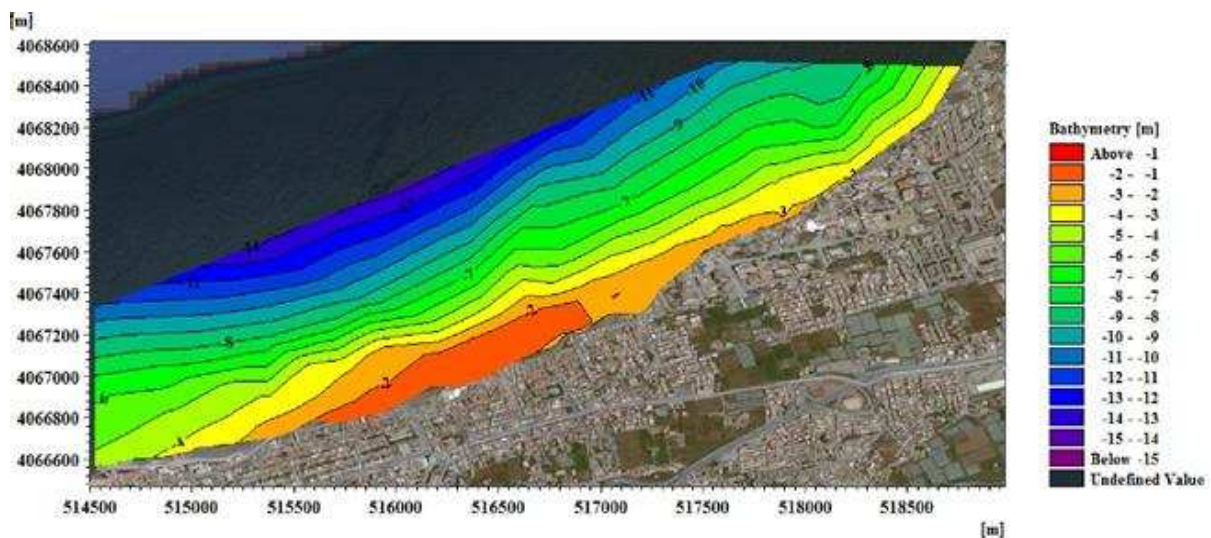


Figure III.21 : Carte bathymétrique de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone2).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (la Sirène I, Sirène I et Verte Rive) est exposée aux houles des secteurs Nord-Nord-Est, Nord et Nord-Ouest (Figure III.22). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

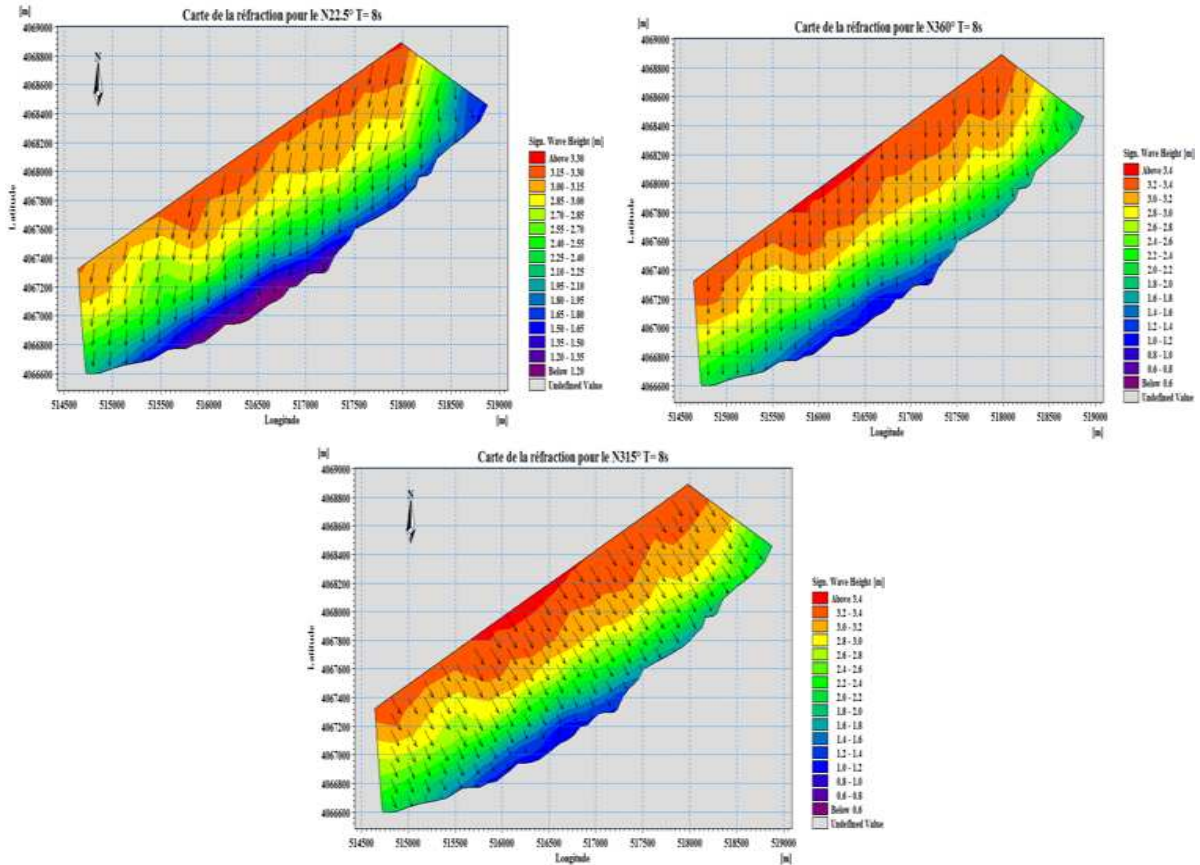


Figure III.22 : Plan de propagation de la houle de la partie Centre de la baie d’Alger (Zone2).

Les houles du Nord et Nord-Nord-Est qui arrivent en oblique à la côte sont très peu réfractées. Tandis que les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 0,7 et 0.89 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l’érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,4 m et 0,8 m du large vers la côte.

III.3.3.3. La partie Est de la baie d’Alger (Zone 3)

▪ *Etude bathymétrique*

L’analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La morphologie du fond présente deux barres sous-marine -3 m à l’Est de la zone d’étude et - 4,5 m au centre. Dans la partie Est de cette zone, les isobathes sont serrées par rapport à l’Ouest où elles sont un peu plus espacées jusqu’à -9 m et ce n’est qu’à partir de cette profondeur que les équidistances entre les isobathes deviennent égaux et plus régulières traduisant une pente très douce (Figure III.23).

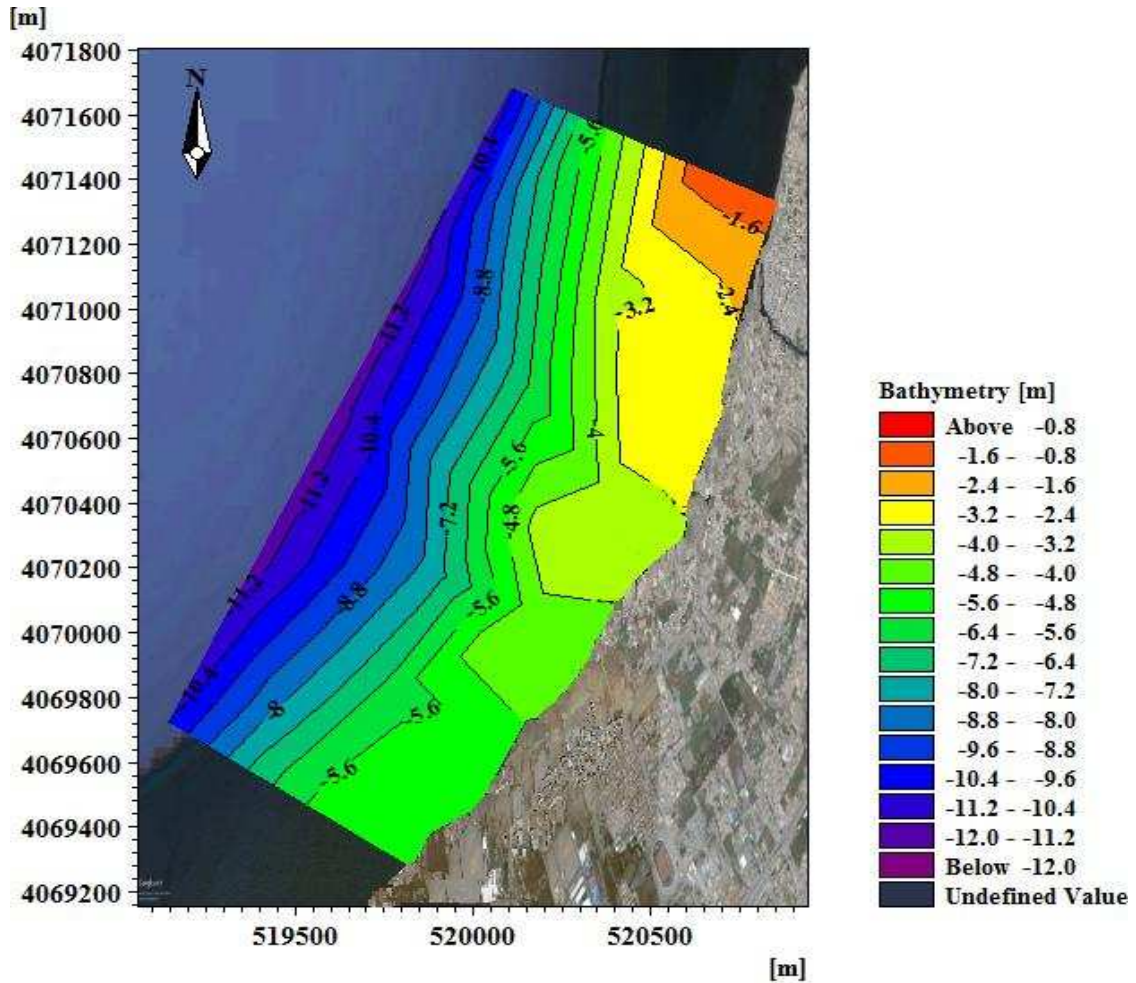


Figure III.23 : Carte bathymétrique de la partie Est de la baie d'Alger (Zone 3).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Bateau Cassé, Stamboul et Coco) est exposée aux houles de secteur Nord-Ouest, Nord-Nord-Ouest et Nord (Figure III.24). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord et Nord-Nord-Ouest qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées, perdant une partie de leurs énergies du large, le coefficient de réfraction moyen varie entre 0,83 et 0,93. Tandis que les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 1,07 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives arrivant du Nord-Ouest ont des hauteurs plus élevées (entre 1,2 m et 3,3 m) par rapport aux autres directions.

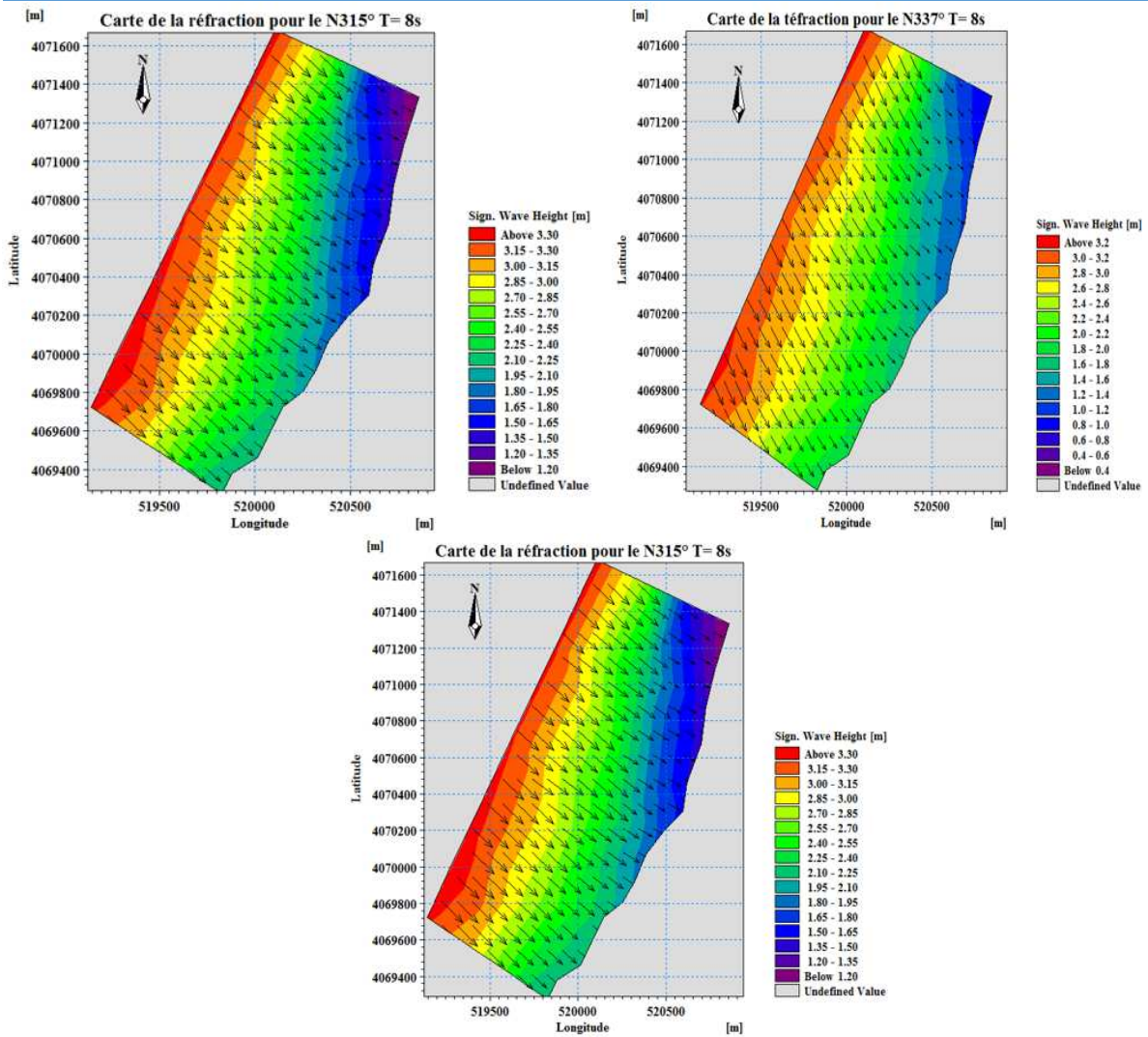


Figure III.24 : Plan de propagation de la houle de la partie Est de la baie d'Alger (Zone3).

III.3.3.4. La partie Est de la baie d'Alger (Zone 4)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique relève une morphologie sous-marine irrégulière entre le trait de côte et l'isobathe -10 m. Nous avons aperçu que dans la partie Est de la zone d'étude (entre -4 m et -15 m), les isobathes sont serrées traduisant une pente abrupte. Par contre dans la partie Ouest de cette zone, les isobathes sont un peu plus espacées et ce n'est qu'à partir de -10 m de profondeur que la morphologie du fond a tendance à être un peu plus régulière, espacée et parallèle à la côte au fur et à mesure que l'on avance vers le large (Figure III.25).

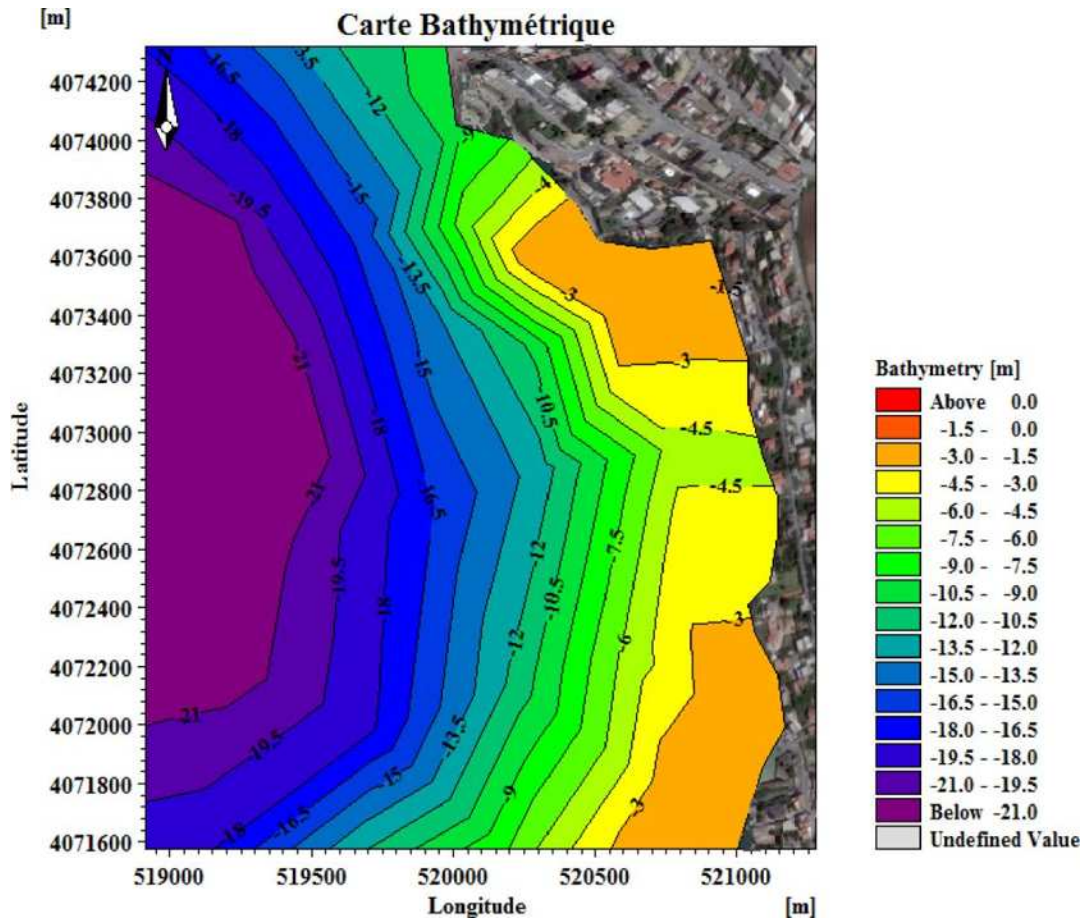


Figure III.25 : Carte bathymétrique de la partie Est de la baie d'Alger (Zone 4).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) est exposée aux houles des secteurs Nord-Ouest, Ouest-Nord-Ouest et Ouest (Figure III.26). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle à l'Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord-Ouest et les houles de l'Ouest-Nord-Ouest qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées par le musoir de la jetée primaire du port, perdant une partie de leurs énergies du large, le coefficient de réfraction moyen est de 1,02. Tandis que les houles de l'Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 1,1 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entrainer l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,4 m et 0,6 m du large vers la côte.

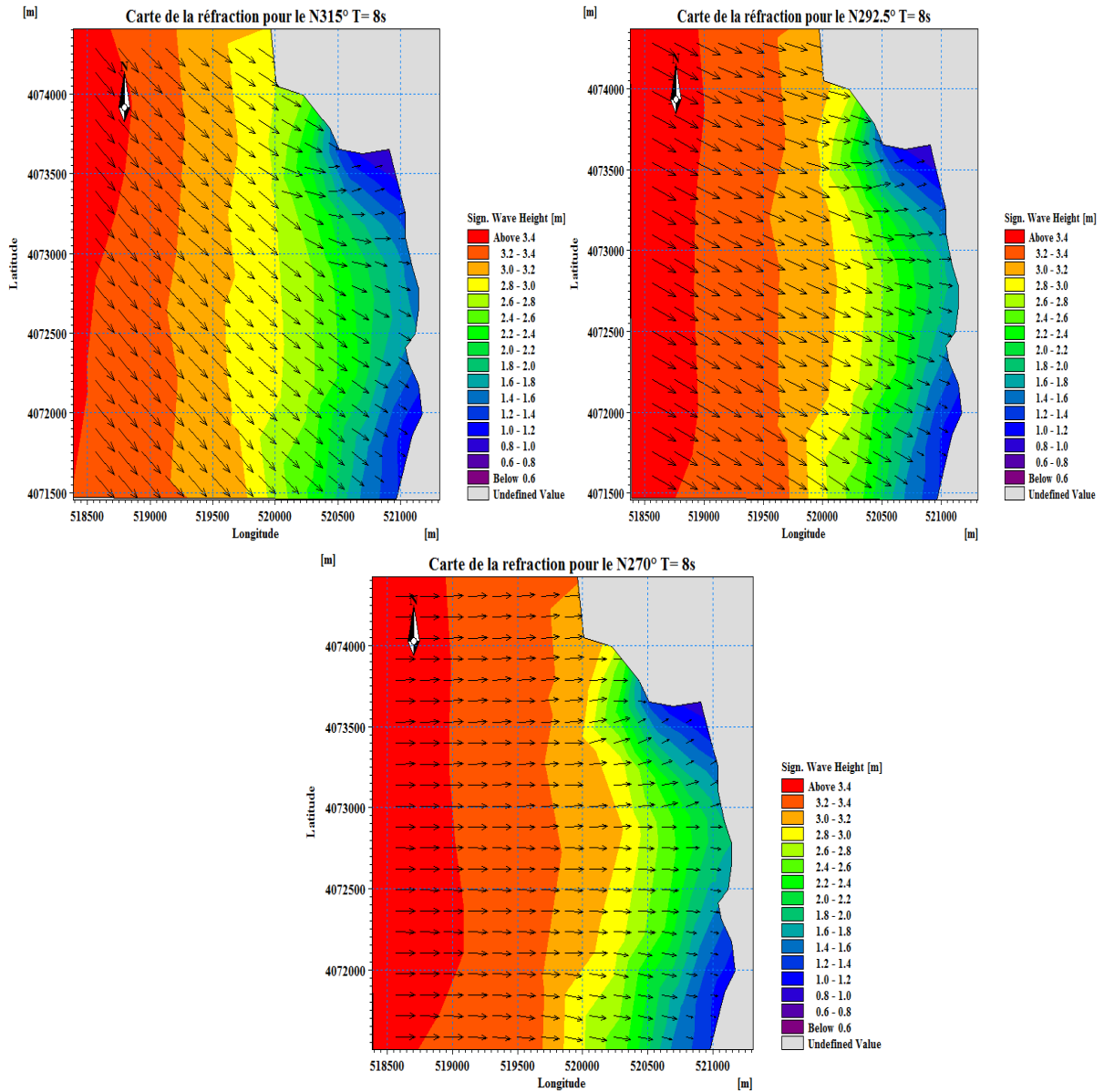


Figure III.26 : Plan de propagation de la houle de la partie Est de la baie d'Alger (Zone4).

III.3.4. LE GOLFE DE BEJAIA

La bathymétrie obtenue pour le golfe de Bejaia présente des valeurs comprises entre -8 m et -112 m. Bien que, l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Une zone d'étude a été choisie sur ce littoral. (Figure III.27).

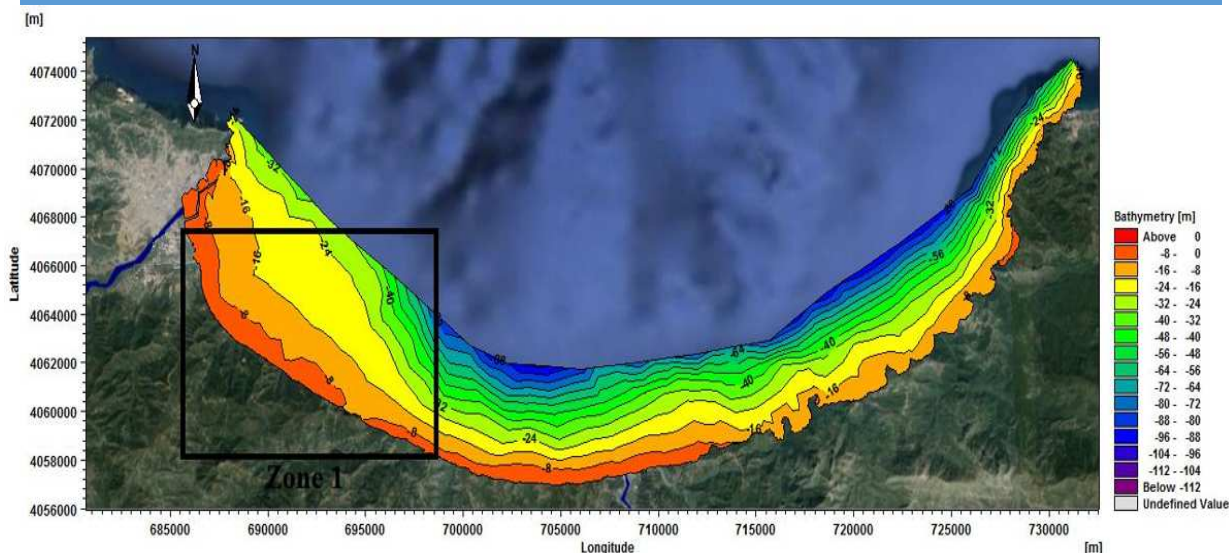


Figure III.27 : Carte bathymétrique du golfe de Bejaia.

III.3.4.1. La partie Ouest du golfe de Bejaia (Zone 1)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. Dans la partie Est de la zone d'étude, les isobathes sont très serrées ce qui définit un profil a pente abrupte. Par contre dans la partie Ouest de cette zone, les isobathes sont un peu plus espacées et s'élargissent au fur et à mesure que l'on avance vers le large traduisant l'adoucissement de la pente (Figure III.28).

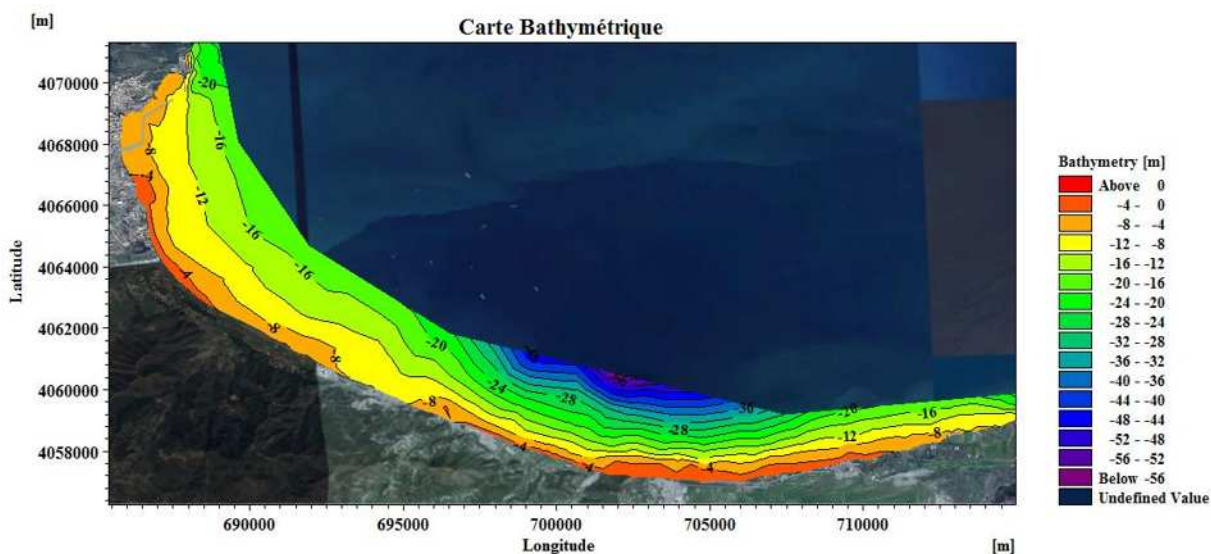


Figure III.28 : Carte bathymétrique de la partie Ouest du golfe de Bejaia (Zone1).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Sidi Ali Lebher, Boukhlifa, Tichy, Aokas) est exposée aux houles des secteurs Nord-Est, Nord et Nord-Nord-Ouest (Figure III.29). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Est et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

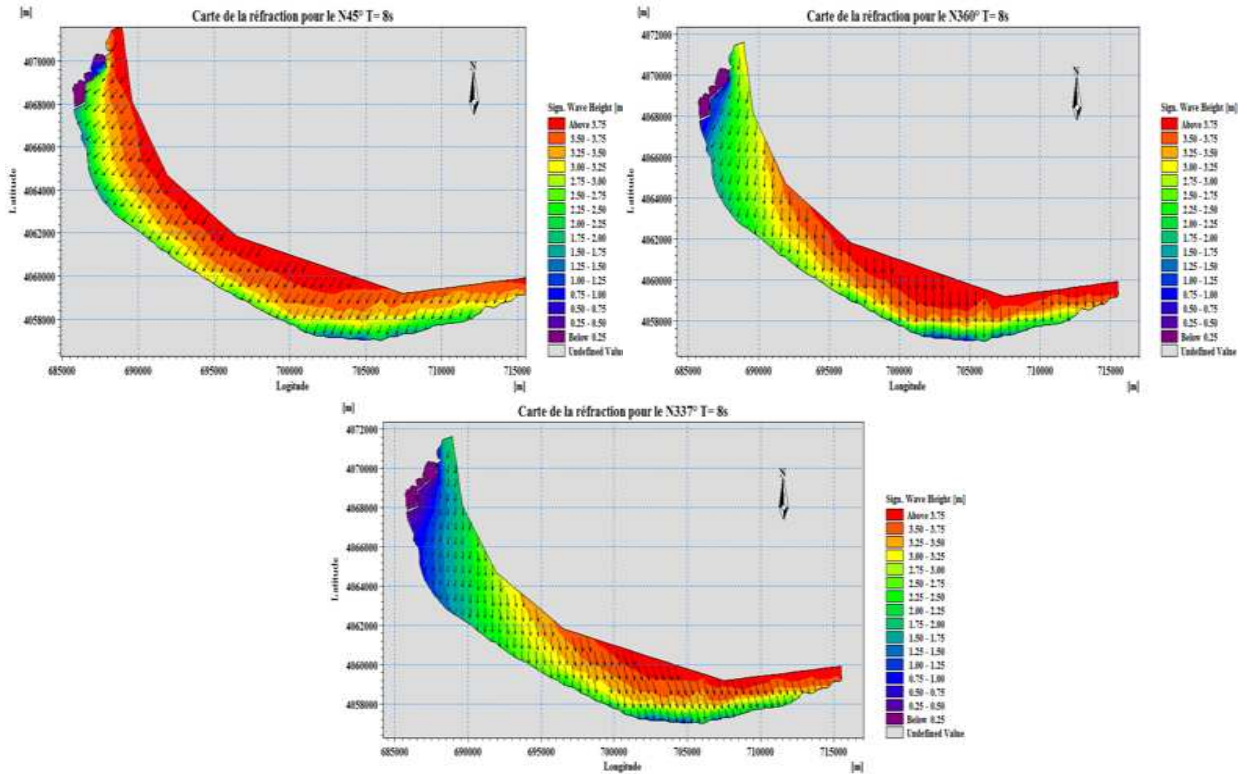


Figure III.29 : Plan de propagation de la houle de la partie Ouest du golfe de Bejaia (Zone1).

Les houles du Nord-Nord-Ouest arrivent toutes en oblique à la côte et celles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la région de Tichy et Aokas et de manière oblique à la région de Sidi Ali Lebher et Boukhlifa. Ces houles sont moyennement réfractées subissant l'influence du Cap Carbon, le coefficient de réfraction moyen varie entre 0,65 et 0,91. Tandis que, les houles du Nord-Est ont tendance à arriver perpendiculairement à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 1,2 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,75 m et 0,25 m du large vers la côte.

III.3.5. LE GOLFE DE SKIKDA

La bathymétrie obtenue pour le golfe de Skikda présente des valeurs comprises entre -8 m et -112

m. Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Quatre zones d'étude ont été choisies sur ce littoral. (Figure III.30).

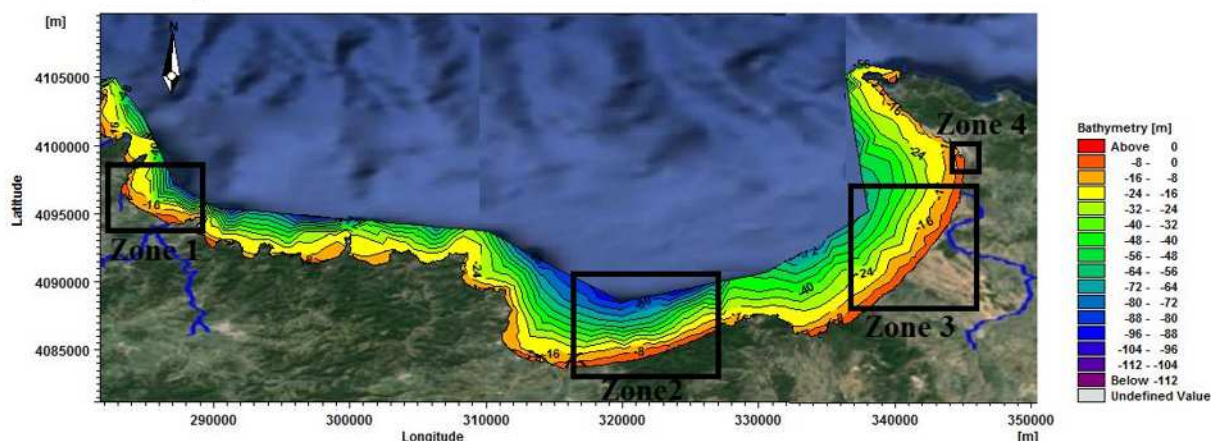


Figure III.30 : Carte bathymétrique du golfe de Skikda.

III.3.5.1. La partie Ouest du golfe de Skikda (Zone 1)

▪ Etude bathymétrique

L'analyse de la carte bathymétrique relève une morphologie sous-marine irrégulière entre le trait de côte et l'isobathe -10,5 m, avec la présence des barres sous-marines à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude. Les isobathes de -3,5 m jusqu'à -13,5 m sont très rapprochées traduisant une pente abrupte dans la partie Ouest de cette zone. Par contre dans la partie Est, les isobathes sont un peu plus espacées et ce n'est qu'à partir de -10,5 m profondeur que la morphologie du fond a tendance à être un peu plus régulière, espacée et parallèle à la côte au fur et à mesure que l'on avance vers le large (Figure III.31).

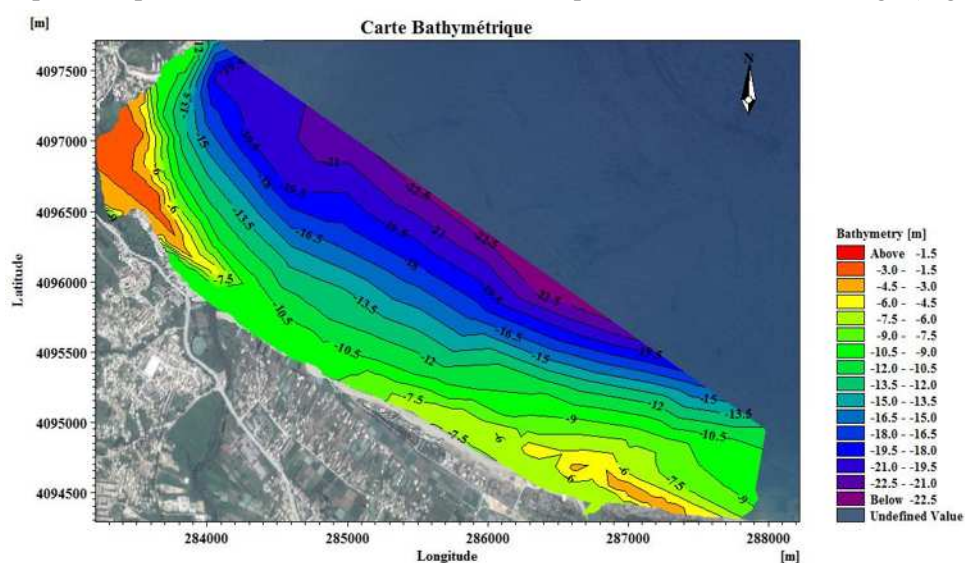


Figure III.31 : Carte bathymétrique de la partie Ouest du golfe de Skikda (Zone 1).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Ain Oum El Laksab, Talezza-Collo, Ben Zouite) est exposée aux houles des secteurs Nord-Est, Nord-Nord-Est et Nord (Figure III.32). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Nord-Est et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées subissant l'influence du Cap Bougaroun. Le coefficient de réfraction moyen est de 1,3. Tandis que les houles du Nord-Est et Nord-Nord-Est ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Le coefficient de réfraction moyen varie entre 0,9 et 1,1 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,8 m et 1 m du large vers la côte.

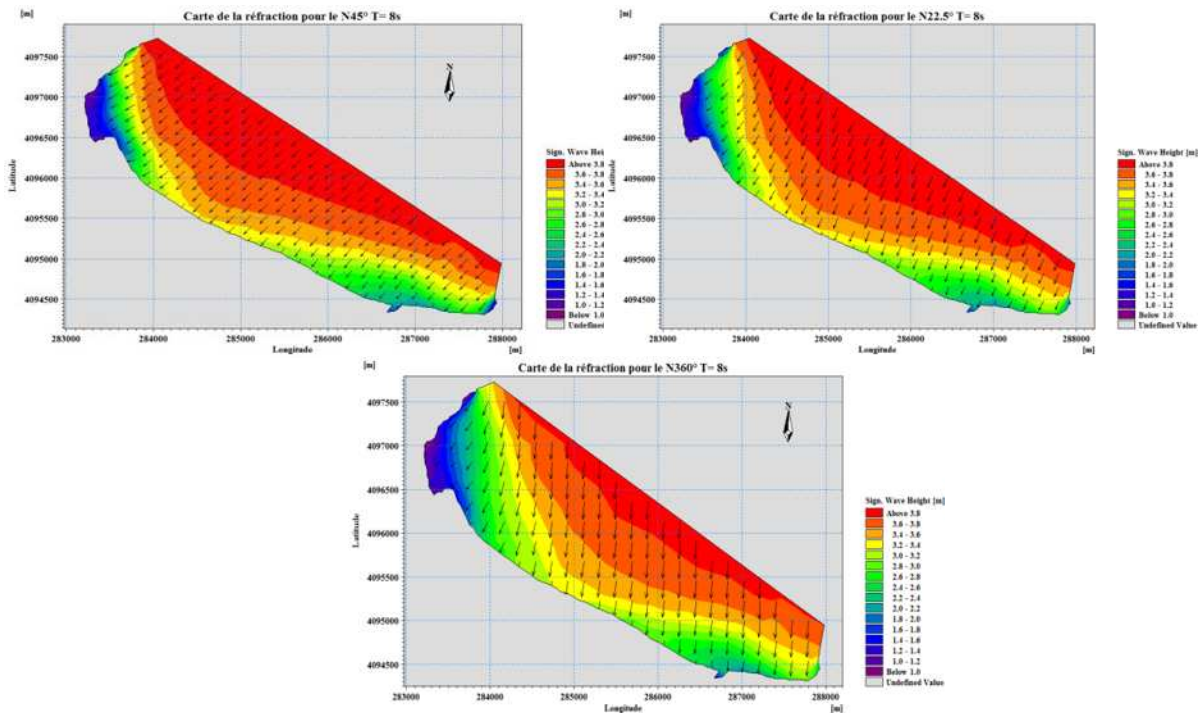


Figure III.32 : Plan de propagation de la houle de la partie Ouest du golfe de Skikda (Zone 1).

III.3.5.2. La partie Centre du golfe de Skikda (Zone 2)

▪ *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone d'étude présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant, la partie Est de cette zone présente une barre sous-marine et ce

n'est qu'à partir de -7,5 m que ces isobathes redeviennent régulières et plus douce (Figure III.33).

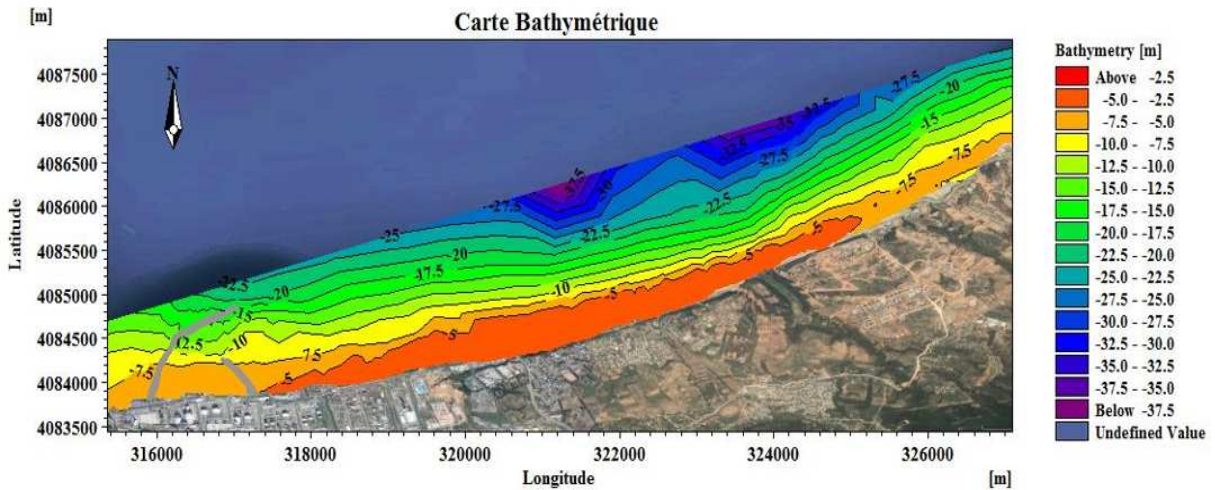


Figure III.33 : Carte bathymétrique de la partie Centre du golfe de Skikda (Zone 2).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) est exposée aux houles des secteurs Nord-Est, Nord et Nord-Ouest (Figure III.34). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

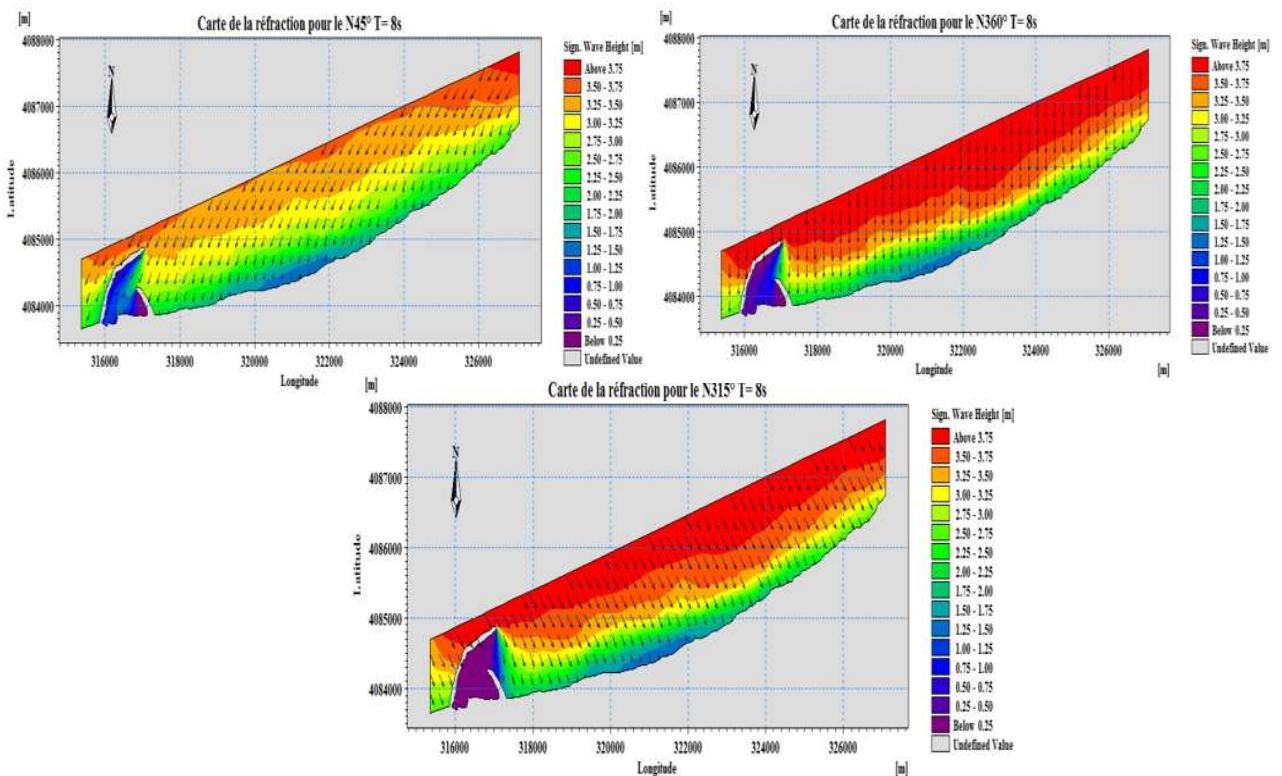


Figure III.34 : Plan de propagation de la houle de la partie Centre du golfe de Skikda (Zone 2).

Les houles du Nord-Est et Nord arrivent en oblique à la côte. Tandis que celles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte. Ces trois directions dominantes gardent presque la totalité de leurs énergies du large. . Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen 0,91 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entrainer l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,75 m et 0,25 m du large vers la côte.

III.3.5.3. La partie Est du golfe de Skikda (Zone 3)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte. La zone d'étude présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte et ce n'est qu'à partir de -22 m que ces isobathes redeviennent un peu plus espacées (Figure III.35).

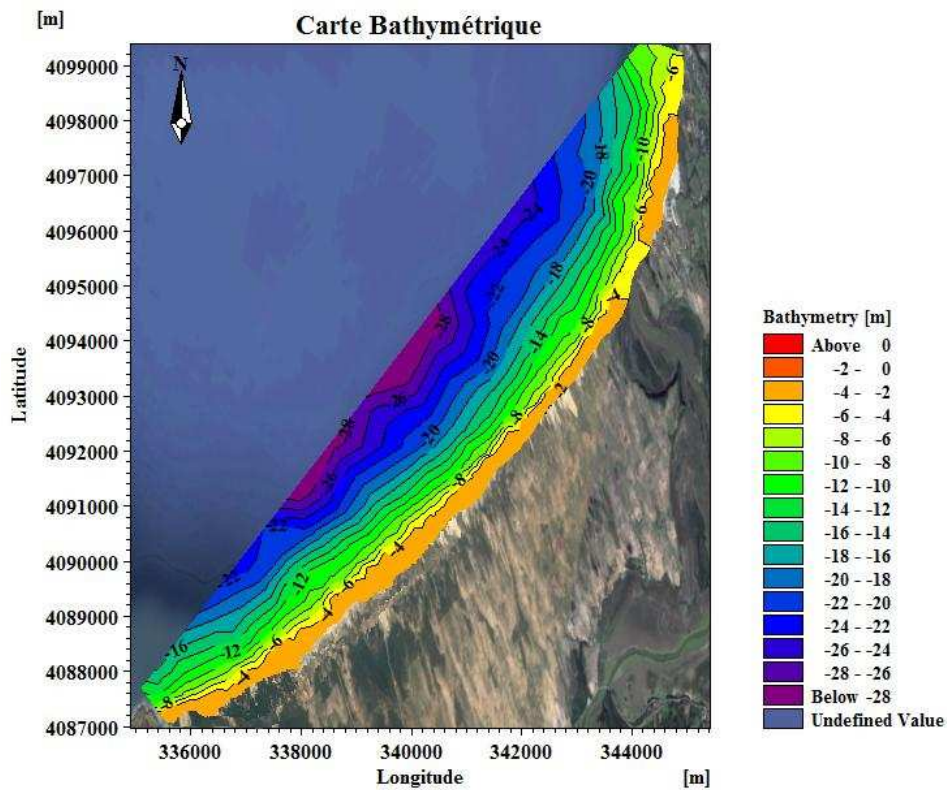


Figure III.35 : Carte bathymétrique de la partie Est du golfe de Skikda (Zone 3).

- *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (Guerbes et Remila) est exposée aux

houles des secteurs Nord, Nord-Ouest et Ouest (Figure III.36). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord et celles de l'Ouest qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées, le coefficient de réfraction moyen varie entre 1,04 et 1,2. Tandis que les houles du Nord-Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardant presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen 0,78 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,75 m et 0,25 m du large vers la côte.

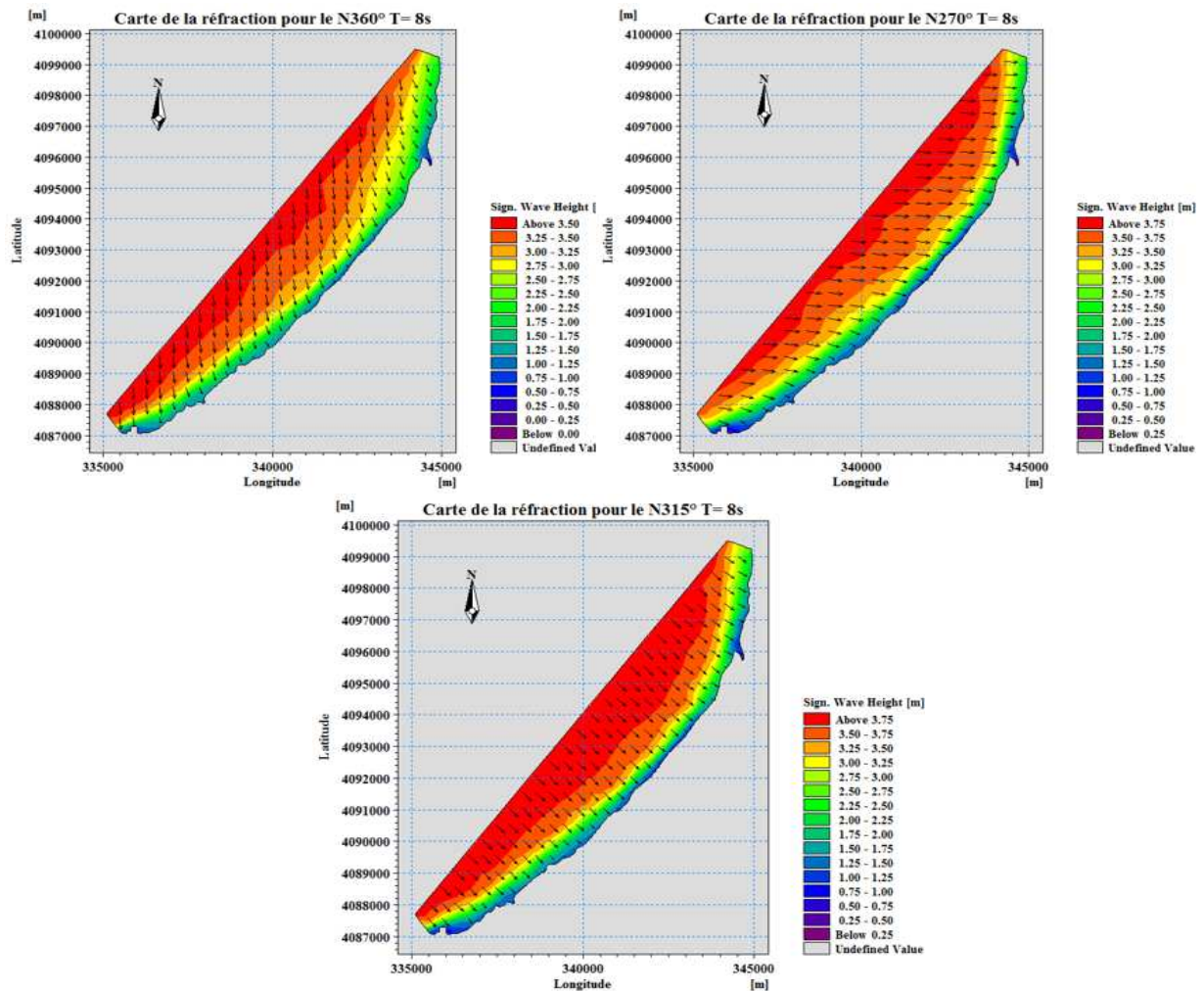


Figure III.36 : Plan de propagation de la houle de la partie Est du golfe de Skikda (Zone3).

III.3.5.4. La partie Est du golfe de Skikda (Zone4)

- *Etude bathymétrique*

L'analyse de la carte bathymétrique relève une morphologie sous-marine irrégulière entre le trait de côte et l'isobathe -9 m. Dans la partie Ouest de la zone d'étude, les isobathes -4 m jusqu'à -9 m sont

très serrées traduisant une pente abrupte. Par contre dans la partie Est de cette zone, les isobathes sont un peu plus espacées avec la présence des barres sous-marine et ce n'est qu'à partir de -9 m que la morphologie du fond à tendance à être un peu plus régulière, espacée et parallèle à la côte au fur et à mesure que l'on avance vers le large (Figure III.37).

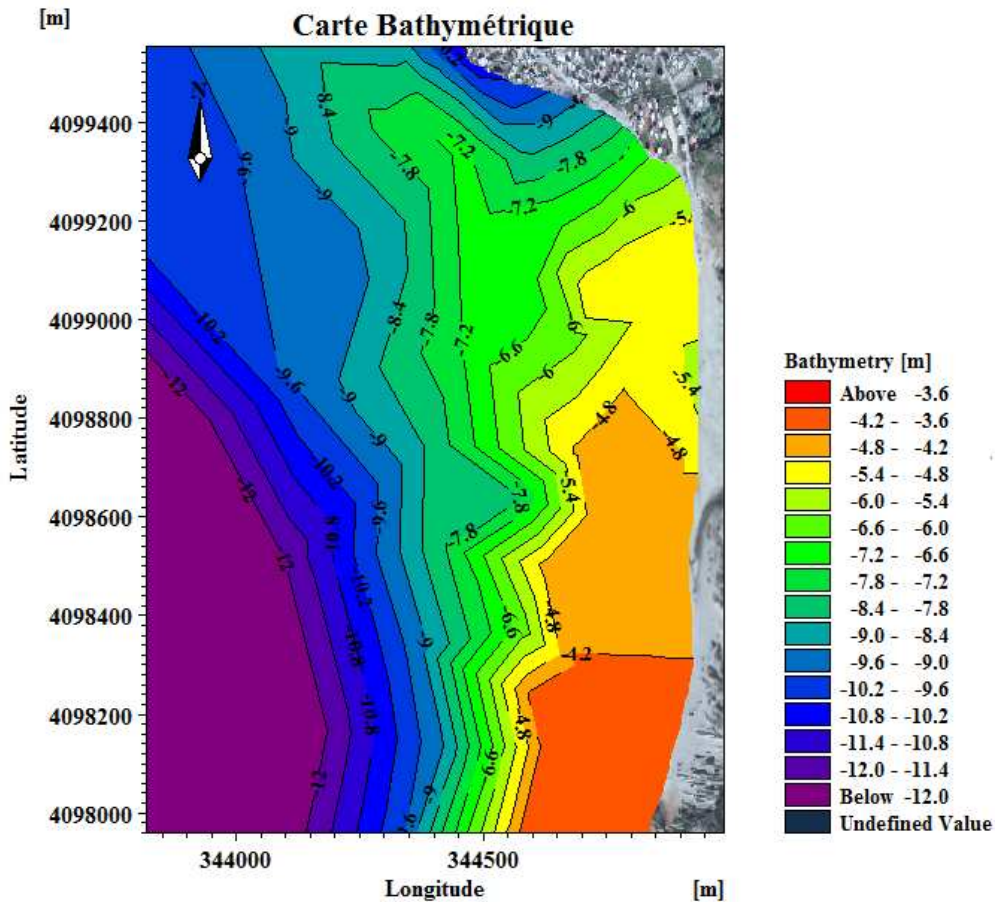


Figure III.37 : Carte bathymétrique de la partie Est du golfe de Skikda (Zone 4).

▪ *Etude hydrodynamique*

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude (El Marsa) est exposée aux houles des secteurs Nord-Nord-Ouest, Nord-Ouest et Ouest (Figure III.38). Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle à l'Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

Les houles du Nord-Nord-Ouest et celles du Nord-Ouest qui arrivent en oblique à la côte sont moyennement réfractées, subissant l'influence de la jetée Primaire du port El marsa. Le coefficient de réfraction moyen varie entre 1,02 et 1,1. Tandis que, les houles du Ouest ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen 1,3 à 5 m peuvent générer des courants littoraux et entrainer l'érosion côtière. Cependant, les houles significatives varient entre 3,9 m et 0,6 m du large vers la côte.

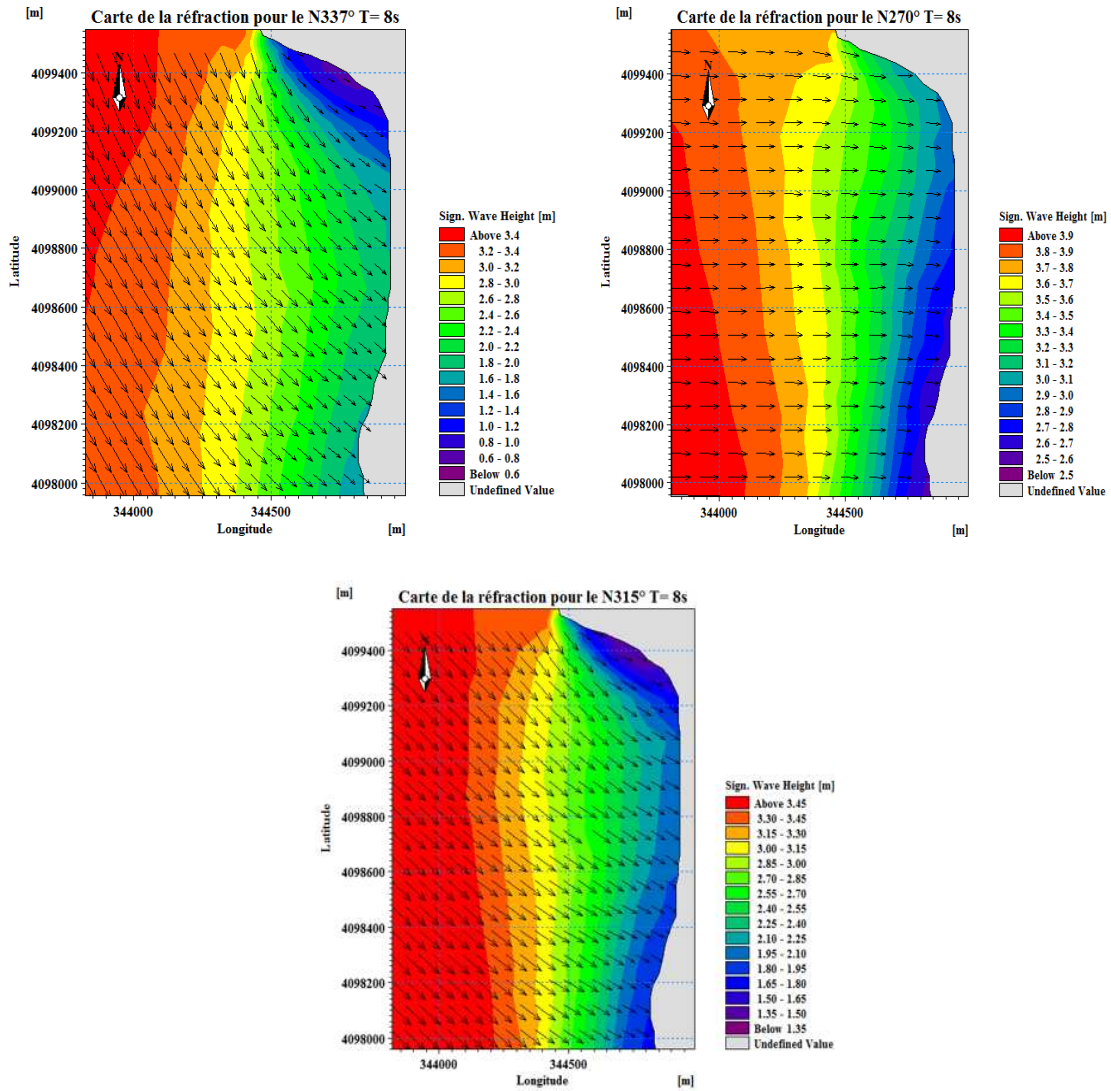


Figure III.38 : Plan de propagation de la houle de la partie Est du golfe de Skikda (Zone 4).

Chapitre IV

Application des SIG au suivi de l'évolution d'un trait de côte

Chapitre IV

Application des SIG au suivi de l'évolution d'un trait de côte

INTRODUCTION

L'objectif principal de ce chapitre s'articule, d'une part sur la théorie d'érosion côtière, et d'autre part sur le développement et la poursuite de l'analyse de l'évolution du trait de côte.

La démarche méthodologique, adoptée pour mener à bien notre étude, s'est effectuée selon différentes échelles temporelles. Il a été nécessaire, pour comprendre la dynamique globale du site, d'étudier son évolution à diverses échelles : Une vision à moyen terme, a pour principal objectif de nous guider dans le choix d'une ligne de référence ainsi que d'un protocole méthodologique efficace pour l'extraction et l'analyse de l'évolution du linéaire côtier de nos zones d'étude.

IV.1. EVOLUTION DU TRAIT DE COTE

Les études de l'évolution côtière examinent et explorent les raisons pour lesquelles la position et la nature du trait de côte se modifient d'un moment à l'autre. En général, il a été constaté que de nombreux littoraux mondiaux sont sous la menace de l'érosion (WILLIAMS et al., 1990).

L'analyse de la cinématique littorale requiert avant tout le choix d'un indicateur du trait de côte, la mise au point d'une méthode d'extraction et de suivi adaptée au marqueur utilisé selon le type de côte, le matériel et les données disponibles.

IV.1.1. Erosion côtière et SIG

L'érosion côtière constitue une préoccupation croissante dans le monde entier (Bartlett et Smith, 2005) qui est causée par des forces naturelles, telles que, courants, vagues, ondes de tempête, les vents ainsi que les développements anthropiques (HEO et al., 2009). C'est un problème mondial ayant des implications économiques concernant le tourisme côtier et le développement durable. Les changements côtiers sont considérés comme un des indicateurs de l'environnement le plus important en raison de son

impact direct sur le développement économique du littoral et la gestion des terres (STOKKOM et al., 1993). Les changements du trait de côte peuvent être utilisés comme un bon indicateur de présence de l'érosion côtière. Aussi le meilleur indicateur pour décrire l'érosion du littoral est-il le taux de récession du trait de côte (HEO et al., 2009). Le rivage est fortement dynamique et mobile dans le temps et dans l'espace en réponse aux variations des processus côtiers (BIRD, 1993 ; CARTER, 1988 ; 1994).

Des photographies aériennes verticales, des images satellites ont des sources de données très utiles pour reconstruire le comportement du trait de côte à diverses échelles spatio-temporelles du long terme (>60ans) au moyen terme (entre 10 et 60ans) (CROWELL et al., 1993). Les photographies aériennes verticales, les images satellites et les cartes fournissent une information convenable pour la cartographie et la classification environnementale, l'examen des effets tempête, les caractéristiques des vagues, l'occupation du sol, etc. (ANFUSO et MARTINES DEL POZO, 2005 ; CROWELL et al., 1991). Des cartes de vulnérabilité d'érosion côtière ont été obtenues pour plusieurs secteurs côtiers dans le monde par l'utilisation des SIG, de l'analyse multi variée assistée par ordinateur et des modèles numériques (COOPER et MCLAUGHLIN, 1998, MCLAUGHLIN et al., 2002).

IV.1.2. Méthodes et techniques utilisées

IV.1.2.1. Les données disponibles :

Les documents disponibles accessibles à l'échelle régionale et locale sont les photographies aériennes orthorectifiées et géoréférencées prises lors des missions de 1989 et de 2015 pour le golfe de Bejaia et les images satellitaires de Google Earth Pro prises lors des missions de 2004, 2008, 2012 et 2016 pour le reste des zones d'études, ce qui donnent une vue synoptique de plusieurs centaines de kilomètres de côte.

Les données collectées nous ont permis d'extraire des traits de côte multi-dates pour entreprendre une analyse régionale et locale de la cinématique des littoraux sableux.

IV.1.2.2. Les logiciels utilisés :

IV.1.2.2.1. Google Earth Pro

Google Earth Pro est un logiciel qui permet de voyager dans le monde via un globe virtuel et d'afficher des images satellites, des plans, des reliefs et des bâtiments 3D. C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60cm (SPOT, QUICKBIRD, IKONOS,...). Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure.

L'utilisation gratuite des images présentées par le logiciel n'est autorisée que par des captures d'écran ou une utilisation en ligne.

Google Earth Pro permet d'imprimer des images en haute résolution, alors qu'il faut se contenter de la résolution de l'écran avec la version basique. Mais aussi bien d'autres fonctions. Il ajoute aux étonnantes fonctionnalités de Google Earth des outils encore plus puissants. Il est également possible de procéder à un géocodage d'adresses par lot, d'importer automatiquement des images SIG et d'avoir « accès à des données démographiques, à des données cadastrales et à des données de circulation ». Les outils de mesure sont plus évolués, tout comme celui permettant de créer des cartes. Il est également question de Movie Maker qui permet de « créer une vidéo qui suit le mouvement de la caméra ».

IV.1.2.2.2. ArcGIS 10.2

ArcGIS est une plateforme logicielle SIG développée par la société ESRI. Cette plateforme correspond à l'intégration de deux distincts plus anciens (ArcInfo et Arcview) et exploite, d'une part, le potentiel des nouvelles puissances de calcul disponibles sur le PC de la fin des années 90 et répond, d'autre part, à de nouveaux besoins telles que la gestion des données SIG en réseau et sur internet. Ainsi, en 1999 ESRI a réalisé son produit d'ArcGIS 8.x), ensuite 9.x en 2004 et la dernière version est ArcGIS 10.x en 2010. Ce système complet (ArcGIS) propose trois produits (1) produits bureautiques (ArcGIS Desktop) ; (2) produits serveurs (ArcGIS Server) et (3) produit nomades (ArcGIS Mobile, ArcPad). Il propose également une plateforme collaborative en ligne (ArcGIS Online).

ArcGis Desktop se compose de quatre applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog, ArcToolBox et ArcGlobe. ArcCatalog est l'application de gestion des données, qui permet de parcourir l'ensemble de données et des fichiers sur l'ordinateur, la base de données, ou autres sources. En plus de montrer les données disponibles, ArcCatalog permet aussi aux utilisateurs de prévisualiser les données sur une carte, offre aussi la possibilité de visualiser et gérer les métadonnées de l'aménagement de l'ensemble de données. ArcMap est l'application utilisée pour visualiser, éditer des données géospatiales, et créer des cartes. ArcToolbox contient des outils de géotraitement, la conversion et d'analyse des données, ainsi que la plupart des fonctionnalités dans ArcInfo. ArcGlobe permet d'afficher de grandes quantités de données SIG à la surface d'un globe (visualisation 3D).

IV.1.2.3. Choix de la ligne de référence

L'étude de la dynamique du trait de côte commence par le choix de la ligne de référence. Dans le cas des côtes sableuses, l'ados de plage s'avère être le plus fiable (ROBIN, 2002). C'est la ligne de contact entre le haut de la plage et l'arrière plage. Cette ligne est facilement reconnaissable sur les photos aériennes puisqu'elle représente la limite des surfaces mouillées (sur les photos elles apparaissent en

gris foncé) (DOLAN et al., 1992). Nous avons adopté la ligne de rivage de 2016 qui a été cartographiée, étant plus précise et plus récente.

IV.1.2.4. Choix de la ligne de base :

En vue de caractériser l'évolution à moyen terme de la côte, il est important de pointer un marqueur physique, proche de la ligne des plus hautes eaux (proche de l'interface milieu terrestre/ milieu marin) mais présentant surtout une faible variabilité journalière, saisonnière ou infra-annuelle. Ce marqueur doit être identifiable sur les photographies aériennes et les images satellitaires pour faciliter la génération des transects.

En ce qui concerne spécifiquement les côtes meubles et les plages sableuses, la ligne de base a été définie comme limite de végétation qui marque généralement la transition entre le système de plage marin et l'arrière-plage soumis à des processus éoliens, où se développent les dunes littorales si les apports sableux sont suffisants. Cette limite est considérée comme le marqueur le plus probant des évolutions côtières à moyen et long terme sur les littoraux sableux (UNESCO-CSI).

IV.1.2.5. Méthodologie suivie :

IV.1.2.5.1. Méthode de digitalisation :

Sous Google Earth Pro, le trait de côte a été digitalisé pour chaque année et pour chaque zone d'étude, manuellement, à l'aide de l'extension 'Ajouter un trajet' puis enregistrer au format KML. Nous avons choisi de prendre toutes ces traits de côte à une altitude de 300 mètres afin qu'ils aient tous la même échelle et qu'ils nous donnent le même niveau de précision (Figure IV.1).

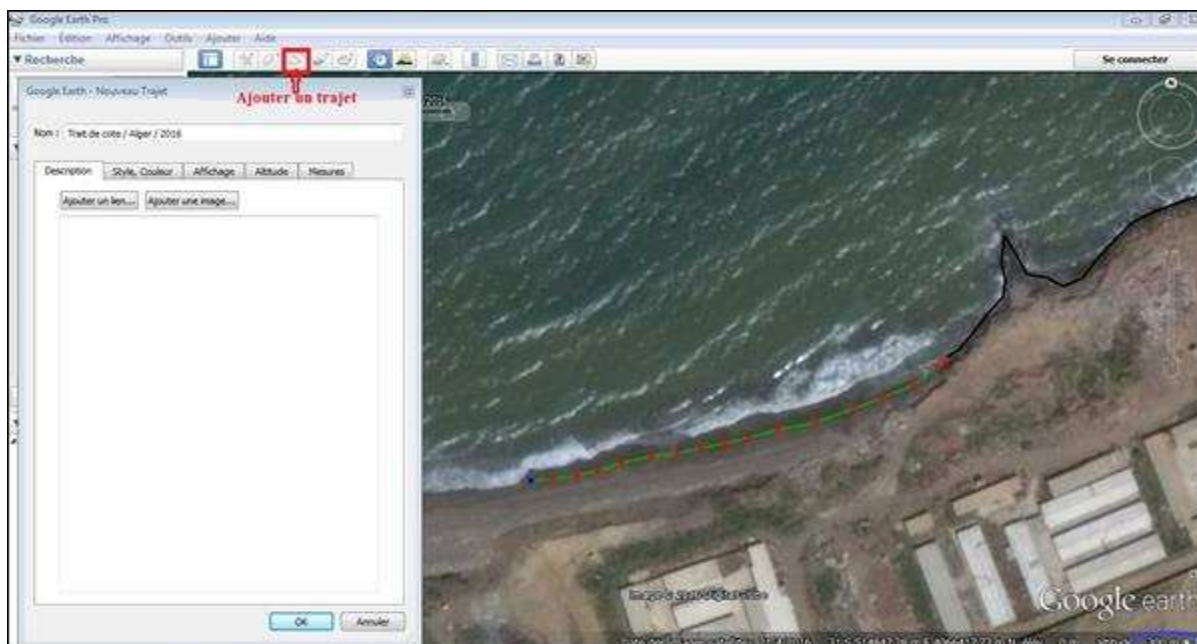


Figure IV.1 : Digitalisation du trait de côte en utilisant l'extension de Google Earth Pro

Les traits de côte enregistrés en KML dans Google Earth Pro ont été intégrés dans ArcGIS puis convertis en Shapefile, en utilisant l'extension 'KML To Layer' dont les entités en sortie sont générées dans le système de coordonnées géographique WGS84. Ces dernières ont été reprojetés dans un autre système de coordonnées WGS84_UTM à l'aide de l'outil 'Project' (Figure IV.2).

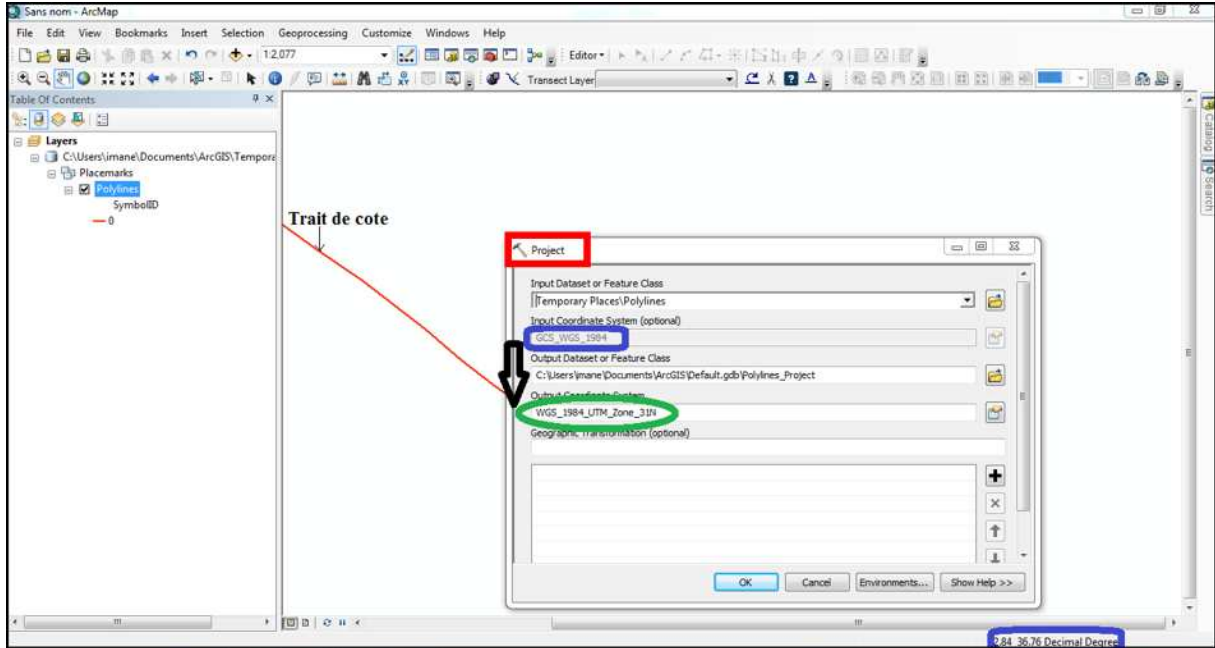


Figure IV.2 : Reprojection du trait de côte en utilisant l'outil d'ArcGIS

Pour les deux photographies aériennes, nous avons utilisé le logiciel SIG, qui est ArcGis 10.2 afin de digitaliser le trait de côte (Figure IV.3).

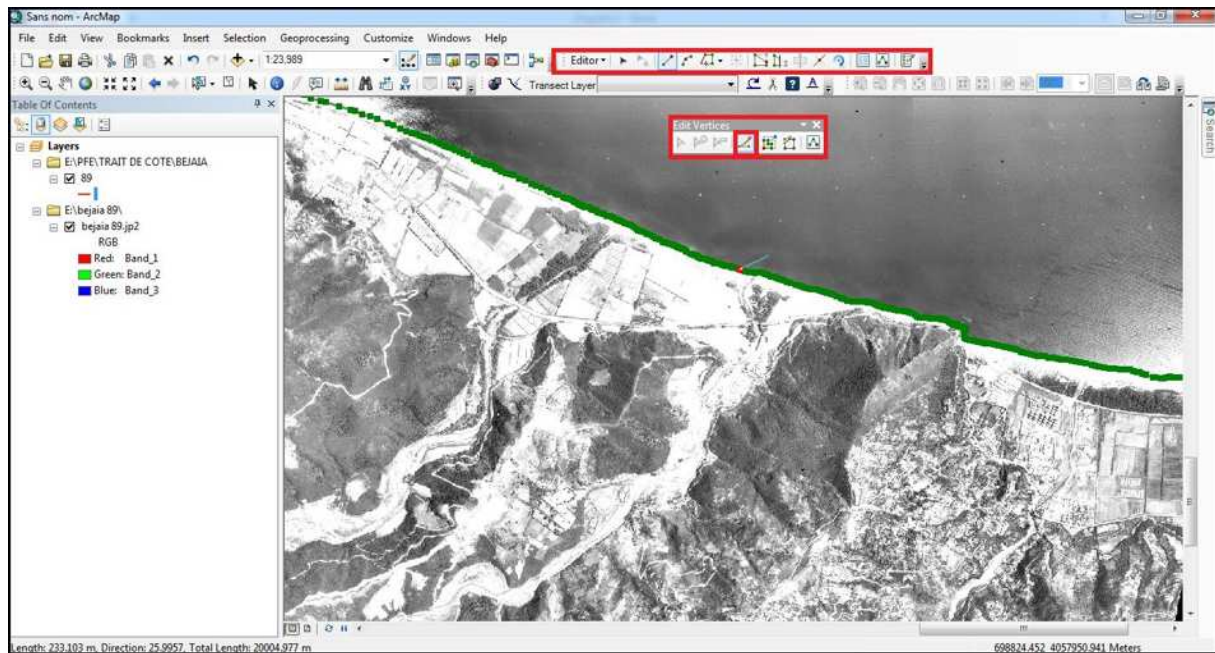


Figure IV.3 : Digitalisation du trait de côte sous ArcGIS

IV.1.2.5.1. Méthode de génération de transects :

ArcGIS 10.2 a été utilisé pour créer et traiter les données pour cette étude. Toutes les données créées seront stockées dans une géodatabase dans laquelle un jeu de classe d'entité (*feature dataset*) a été créé. Il permet de regrouper toutes les classes d'entités (traits de côte) qui seront créées et qui auront le même système de coordonnées projeté (WGS84_UTM) et le même type de géométrie (une ligne « shapefile »). La géodatabase, le jeu de classe d'entité et les classes d'entité sont créés dans ArcCatalog (Figure IV.4), avec une classe d'entité pour chaque trait de côte. En plus, deux autres classes d'entité sont créées, une pour la ligne de base et l'autre pour les transects ayant aussi le même type géométrique (une ligne).

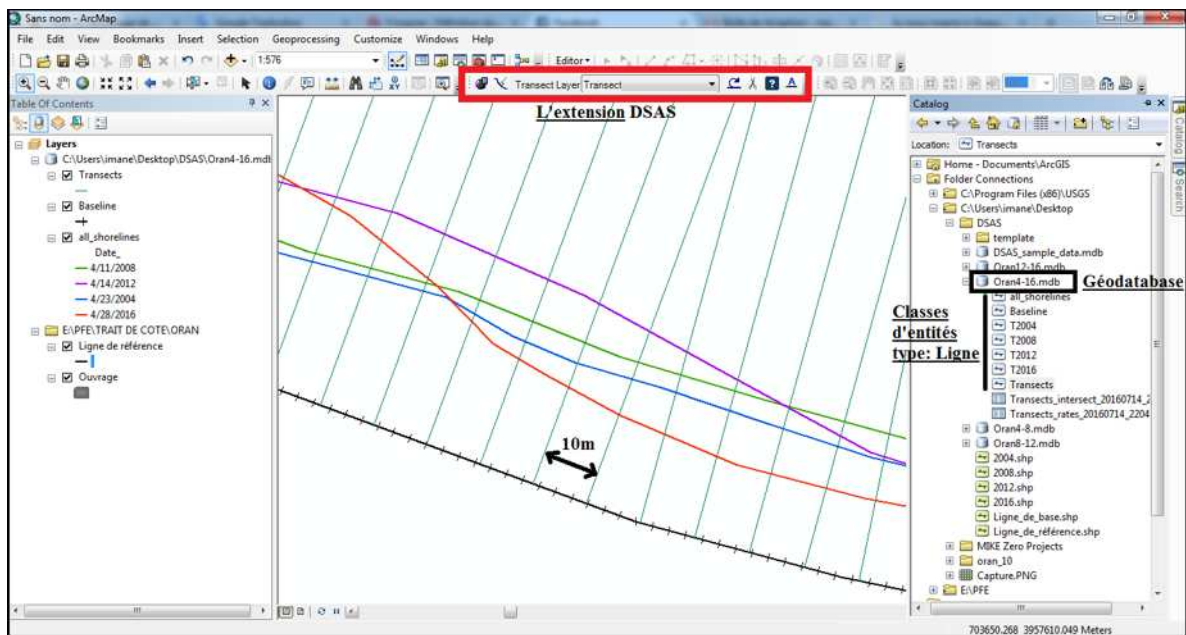


Figure IV.4: Les données créées dans ArcCatalog et ArcMap (ArcGIS 10.2)

a ; Géodatabase et classes d'entité créés dans ArcCatalog

b ; échantillonnage des traits de coote digitalisés, ligne de bases et transects créés dans ArcMAP

La génération des transects perpendiculaires sur la ligne de base a été réalisée à l'aide de l'extension Digital Shoreline Analysis System (DSAS) conçue par Thieler et Danforth (1994).

L'emploi de ce outil a nécessité de définir une ligne de base (limite de végétation), une longueur pour les transects (300 m) ainsi qu'un pas de mesure (10 m) et de disposer de traits de côte projetés dans le même système de coordonnées. Ces transects ont été numérisés et numérotés de l'Est à l'Ouest (Figure IV.5).

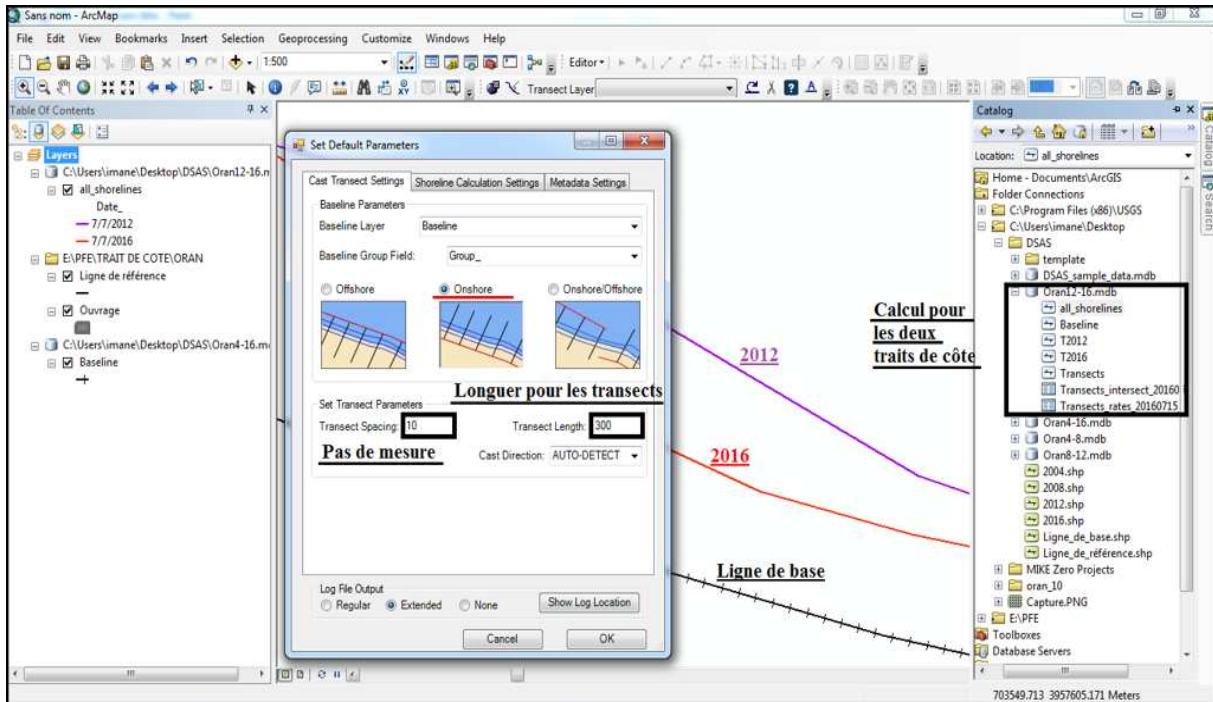


Figure IV.5 : Le concept du DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous ArcMap.

Lorsque tous les paramètres d'entrées sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transect. Cette analyse automatique de tous ces transects permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes. Dans les tables attributaires des transects, on dispose, à l'issue du traitement, en plus des attributs géographiques, des attributs statistiques dont deux, au moins, sont à retenir (Figure IV.6).

Le *Net Shoreline Movement* (NSM) est la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne.

L'*End Point Rate* (EPR) est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates. Exprimé en mètres/an, C'est cet attribut que l'on retrouve dans le modèle cartographique (Figure IV.15, 29, 55, 60 et 86), sous le libellé « vitesse de l'évolution ». l'EPR convient bien lorsque l'on ne dispose que deux traits de côte pour évaluer la cinématique littorale (Thieler et al., 2005).

$$EPR = \frac{NSM}{\text{Nombre d'années entre le plus ancien trait de cote et le plus récent}}$$

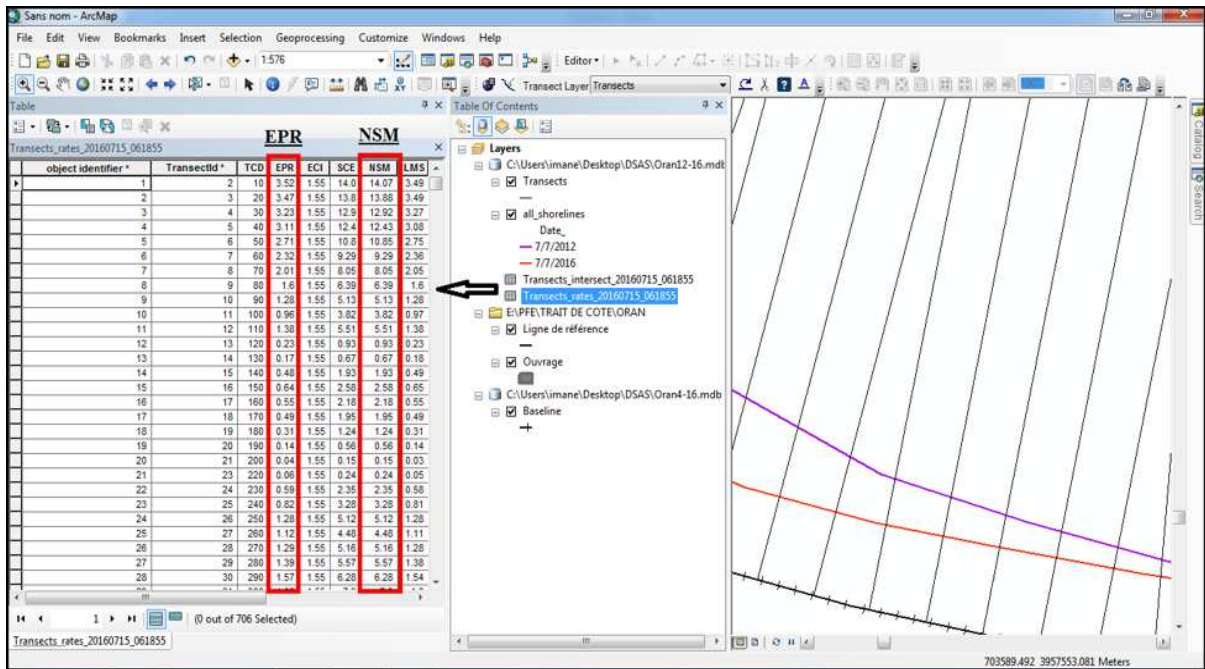


Figure IV.6 : La table attributaire issue lors du traitement sous ArcMap

IV.1.2.5.3. Méthode pour cartographier l'évolution surfacique :

Pour quantifier les pertes et les gains en sédiment le long des littoraux étudiés, les déplacements du trait de côté ont été exprimés en termes de surfaces. En effet, on a pu digitaliser par polygone les surfaces d'évolution des plages. Il s'agit de numériser les surfaces comprises entre les tracés de la ligne de rivage pour chacune des deux dates et de les cumuler selon leur type accrétion ou érosion (Figure IV.7).

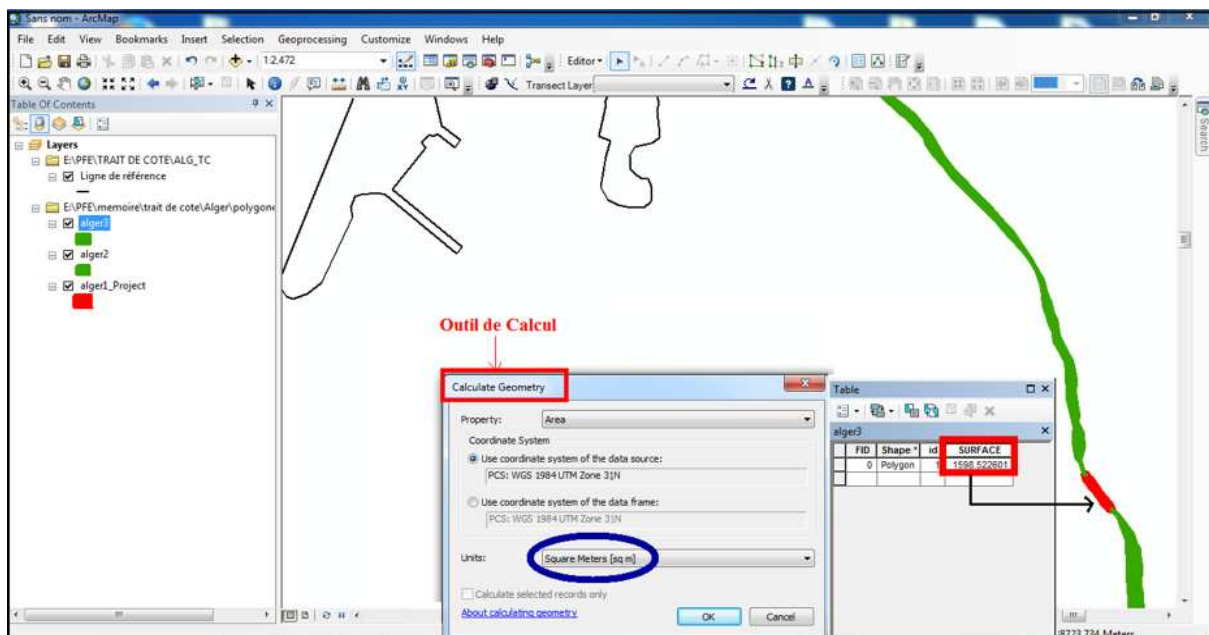


Figure IV.7 : La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses en utilisant l'outil d'ArcGIS

IV.1.2.5.4. Précision des lignes extraites :

La précision des lignes extraites par ces méthodes dépend en grande partie de la qualité des documents de base, du matériel utilisé, des conditions de travail, de l'appréciation et de l'expérience du photo-interprète (MOORE, 2000).

Plusieurs facteurs génèrent de l'incertitude sur la position planimétrique du trait de côte en général :

- la résolution de la photographie / de l'image satellitaire ;
- la présence d'artéfacts diminuant la visibilité sur la photo / l'image (colorimétrie, couvert nuageux, ombre portée...);
- l'échelle de la digitalisation et l'incertitude liée à la digitalisation elle-même.

IV.2. RESULTATS

IV.2.1. LE GOLFE D'ORAN :

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte a été étudiée sur la partie Ouest du golfe d'Oran (Figure IV.8).

Cette analyse diachronique du trait de côte, 2004 à 2016, met en évidence un découpage spatial de la plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps.

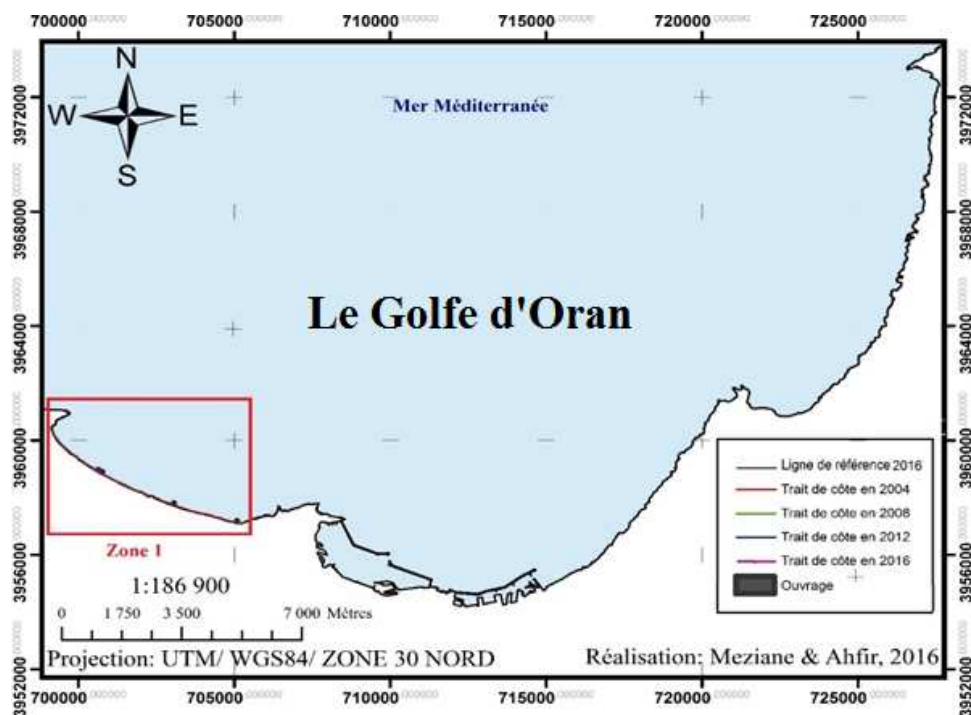


Figure IV.8 : Localisation de la zone d'étude.

IV.1.2.1. La partie Ouest du golfe d'Oran (Zone1)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre zone d'étude, sur 716 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.9)

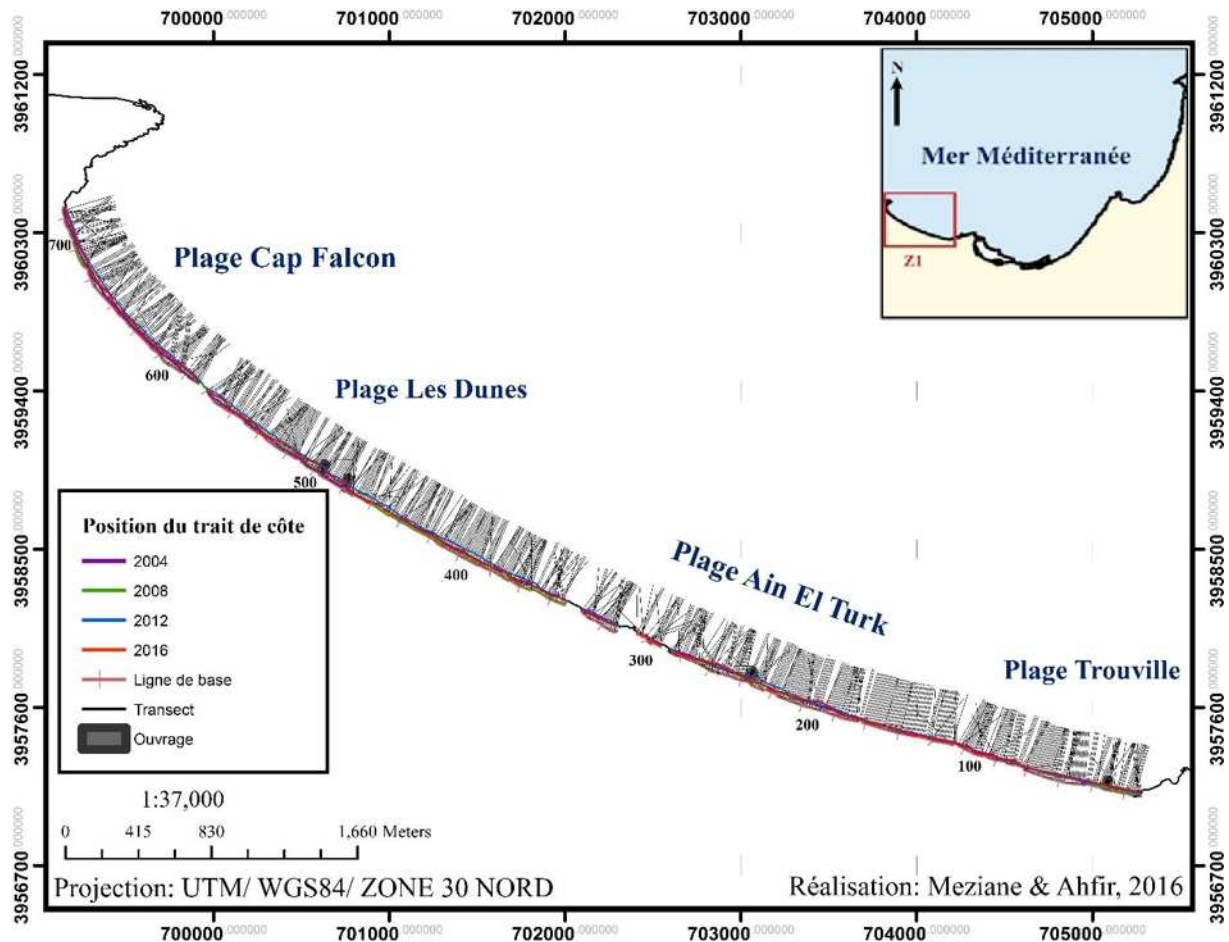


Figure IV.9 : Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest du golfe d'Oran (Zone1) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Les évolutions sont disparates, la tendance évolutive du rivage s'est caractérisée par un engraissement généralisé de l'ordre de 7,28 m ($1,82 \text{ m.an}^{-1}$), l'avancée maximale du trait de côte a été maximale de 34,64 m ($8,66 \text{ m.an}^{-1}$) au niveau du transect 228 (plage de Ain El Turk). Cependant, certains transects ont connu une pénurie de sable qui a conduit à un recul de la côte, le taux de recul a atteint la valeur moyenne de -5,4 m ($-1,35 \text{ m.an}^{-1}$), ce recul a été maximal de -34 m ($-8,5 \text{ m.an}^{-1}$) au niveau du transect 168 (plage de Ain El Turk) (Figure IV.10).

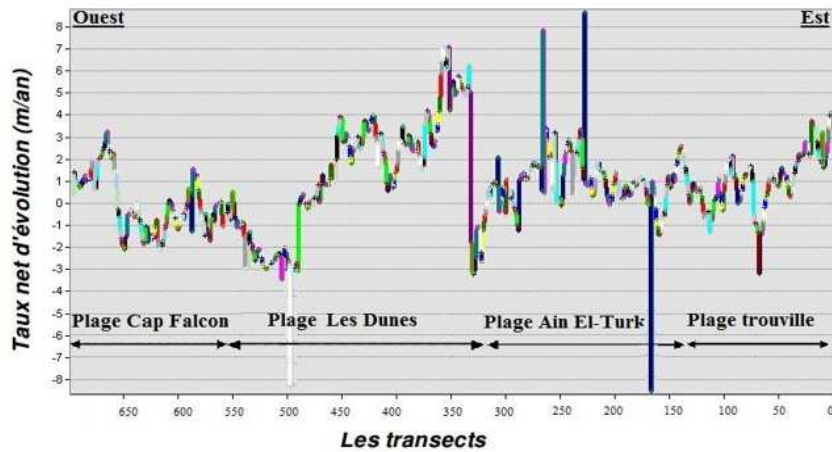


Figure IV.10 : Evolution du trait de côte au niveau des plages (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Cette période fait apparaître une forte tendance à l'engraissement d'une moyenne de 18.68 m ($4,67 \text{ m.an}^{-1}$) qui continue sur l'ensemble des transects 308 à 716 (Les Dunes et Cap Falcon) à l'exception des transects entre 273 et 307 et les transects au niveau de Trouville Plage qui ont enregistré une érosion engendrant un recul du trait de côte de l'ordre de $-4,68 \text{ m}$ ($-1,17 \text{ m.an}^{-1}$). (Figure IV.11)

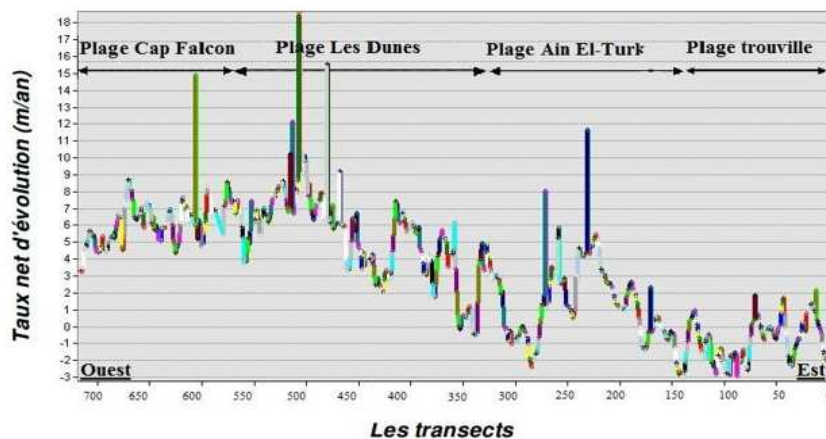


Figure IV.11 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Cette période a enregistré un recul de la ligne de rivage de l'ordre de $-12,44 \text{ m}$ ($-3,11 \text{ m.an}^{-1}$), ainsi nous relevons un engraissement au niveau des transects 1 à 121 (plage Trouville), la valeur moyenne de l'accumulation sur toute la côte est de l'ordre de $5,44 \text{ m}$ ($1,36 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.12).

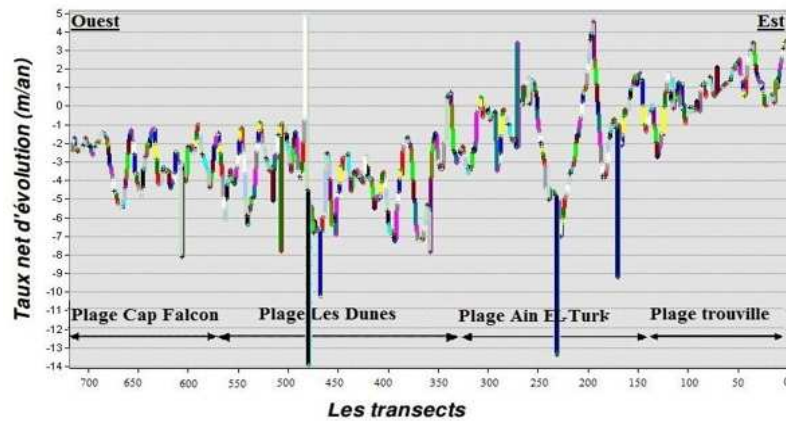


Figure IV.12 : Evolution du trait de côte au niveau des plages (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre (2004 et 2016)

- Période 2004 - 2016

La côte étudiée a connu une accumulation généralisée, la valeur moyenne est de l'ordre de 11,52 m ($0,95 \text{ m.an}^{-1}$). Cependant nous relevons une érosion remarquable au niveau des transects 85 à 175, 160 à 197 et 269 à 328 dont la vitesse de recul de l'ordre de $-0,38 \text{ m.an}^{-1}$ (Figure IV.13).

L'évolution du linéaire côtier de notre zone d'étude, pour la période qui s'étend entre 2004 et 2016, est caractérisée par un faible recul. Une tendance accumulative a continué a marqué les zone d'implantation des épis au niveau des plages (Les Dunes, Ain El Turk et Trouville). Cette dernière a abouti à l'épuisement du stock sédimentaire des zones voisines.

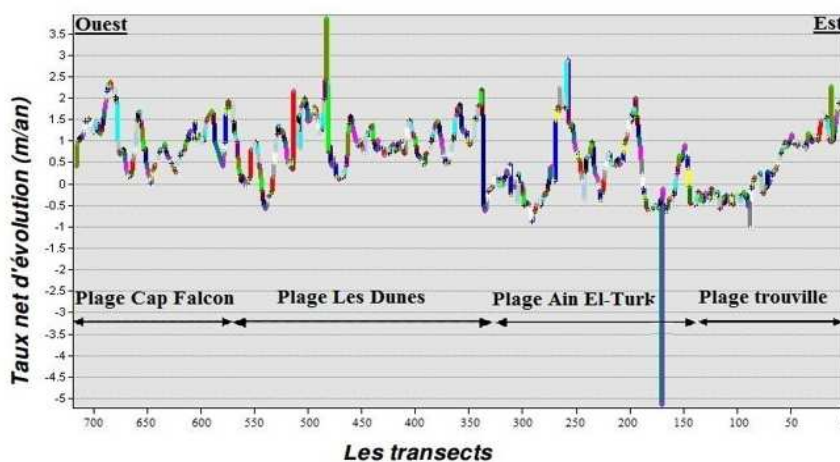


Figure IV.13 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Trouville, Ain El-Turk, Les Dunes et Cap Falcon) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Dunes, Ain Turk, Trouville) de la partie Ouest du golfe d'Oran pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'historgramme (Figure IV.14) montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'engraissement 60234,6271 m² a pris l'avantage sur l'érosion -6104,544771 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 54130,0794 m².

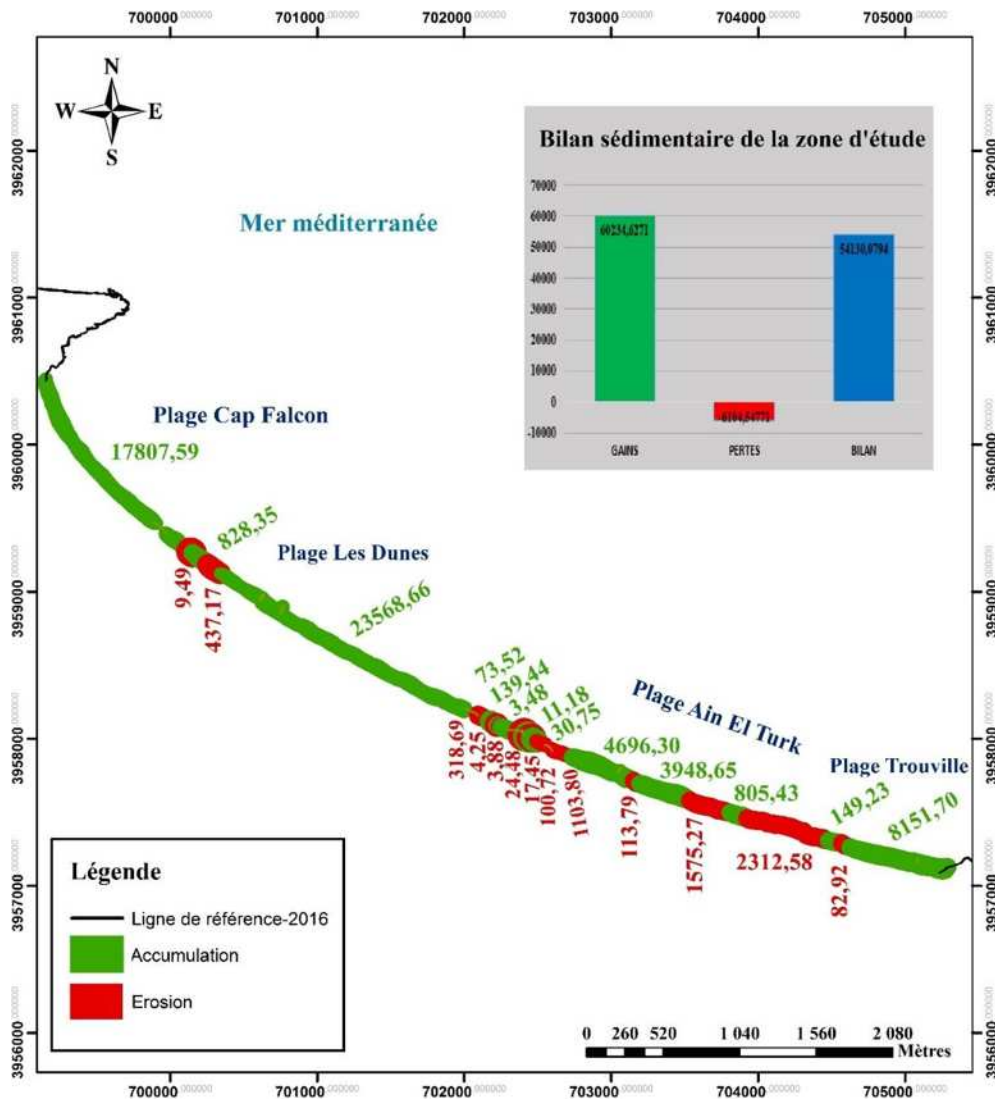
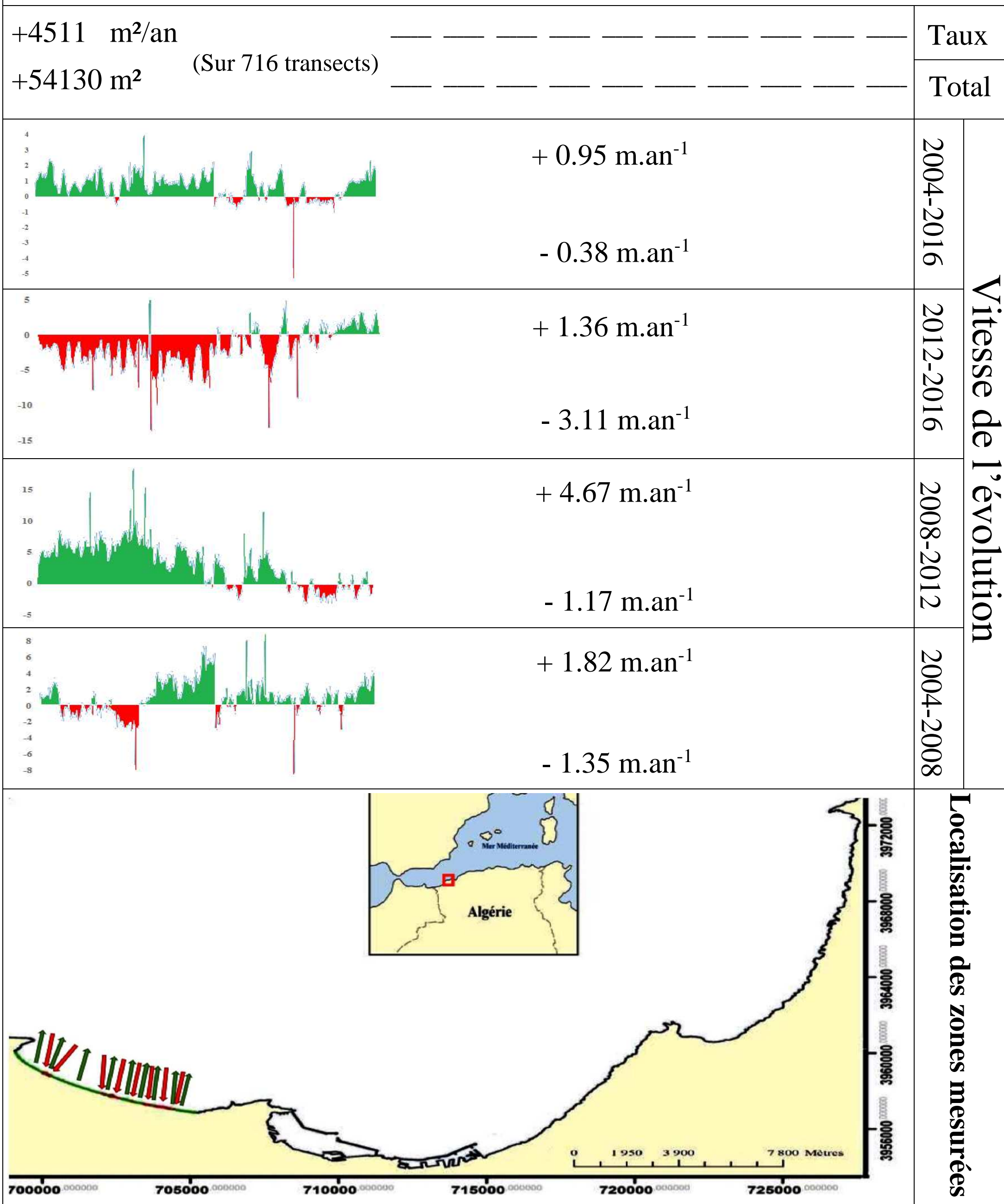


Figure IV.14 : Bilan sédimentaire de la partie Ouest du golfe d'Oran (Zone 1) de 2004 à 2016.

Figure IV.15 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) du golfe d'Oran entre 2004 et 2016.



Direction de l'évolution :

- Accrétion 2004-2016
- Erosion 2004-2016

- Ligne de référence 2016
- Accrétion
- Erosion

Projection : Universal Transverse Mercator
Zone 30 Nord, Ellipsoïde WGS84
Amorces du quadrillage métrique UTM
(Chiffrés tous les 5000m)

Réalisation : Meziane & Ahfir, 2016

IV.2.2. LA BAIE DE BOU-ISMAIL

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte a été étudiée sur la partie Ouest et Est de la baie de Bous-Ismail sur 1463 transects. Deux zones d'étude ont été choisies sur ce littoral (Figure IV.16).

Cette analyse diachronique du trait de côte, 2004 à 2016, met en évidence un découpage spatial de la plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps.

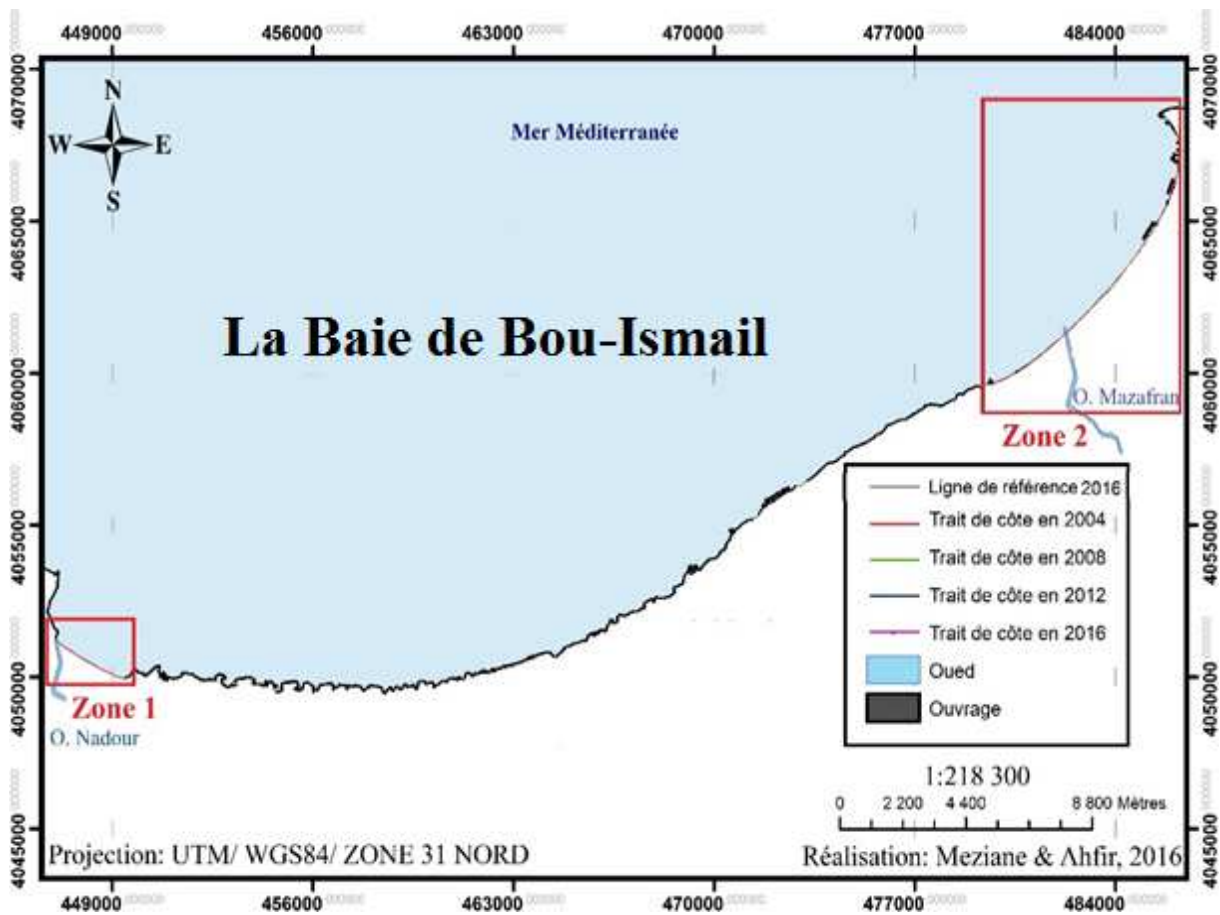


Figure IV.16 : Localisation des zones d'études.

IV.2.2.1. La partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre première zone d'étude sur 282 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.17) :

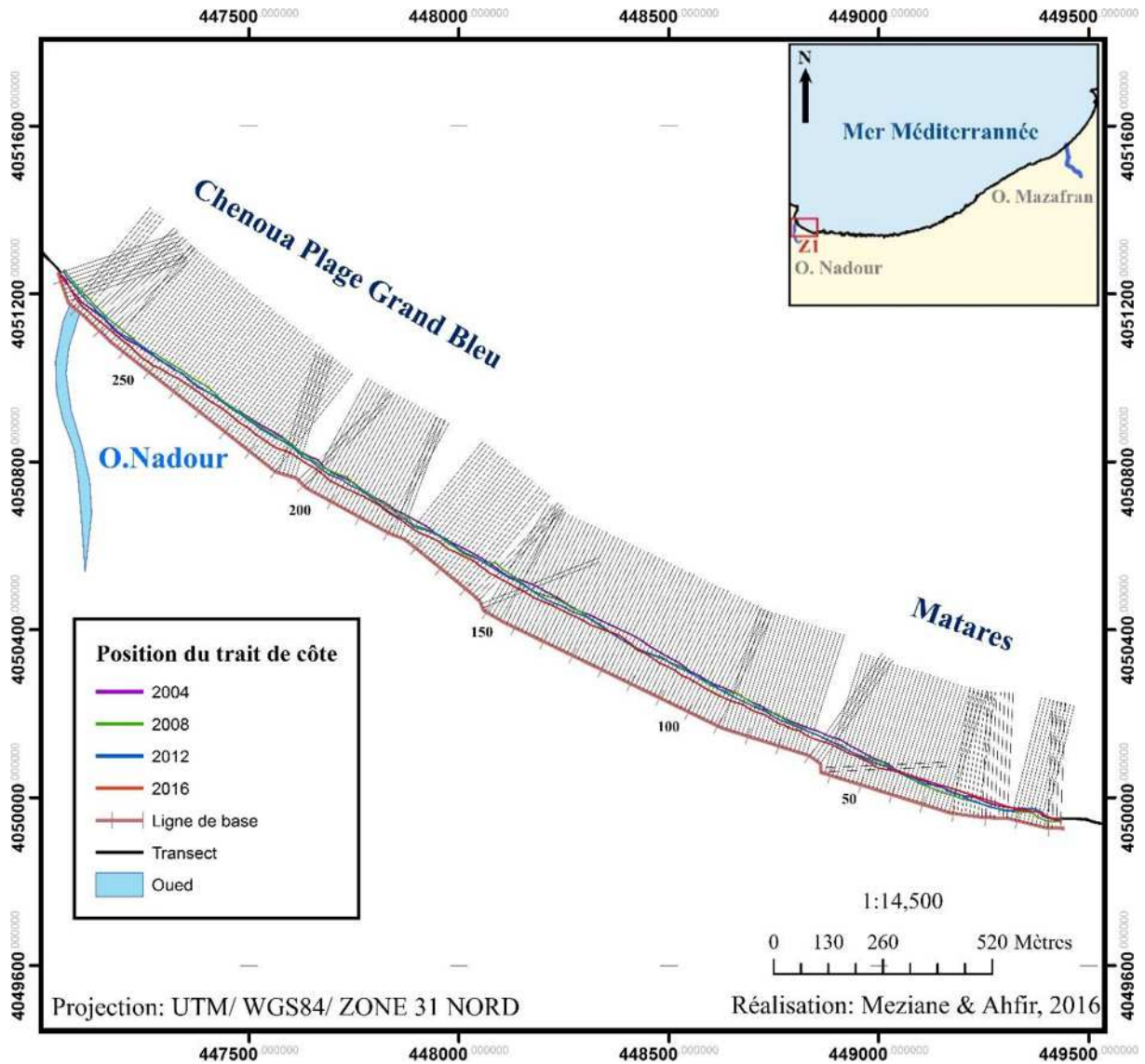


Figure IV.17 : Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Durant ces 4 années, nous passons d'un secteur en accumulation de l'ordre de 7,76 m ($1,94 \text{ m.an}^{-1}$) à un secteur en érosion avec des valeurs ayant atteint moyennement plus de -6.68 m ($-1,67 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.18). Cette tendance évolutive pourrait trouver son explication dans les variations annuelles des apports en sédiments d'oued El Nadour, le piétinement surtout durant la période estivale, la pression urbaine et l'arasement du cordon dunaire.

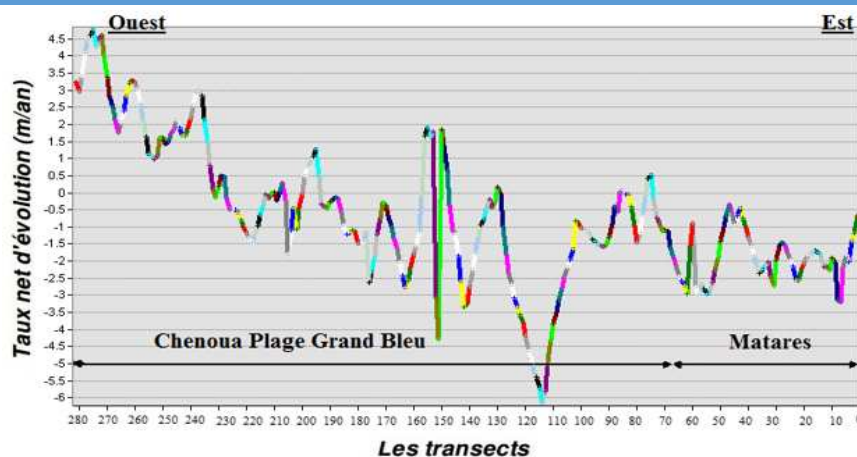


Figure IV.18 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Durant cette période, la tendance évolutive du rivage de Matares s'est caractérisée généralement par un engraissement de l'ordre de 3,96 m ($0,99 \text{ m.an}^{-1}$). Par contre au niveau de Chenoua plage, on a enregistré généralement un recul de l'ordre -4,99 m ($-1,24 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.19). Cette érosion pourrait être justifié par la grande fréquentation touristique, l'extension des zones d'urbanisation ainsi au lancement des travaux du projet du complexe touristique (Le Gand Bleu) en 2009 qui ont épuisé le stock sédimentaires de la région.

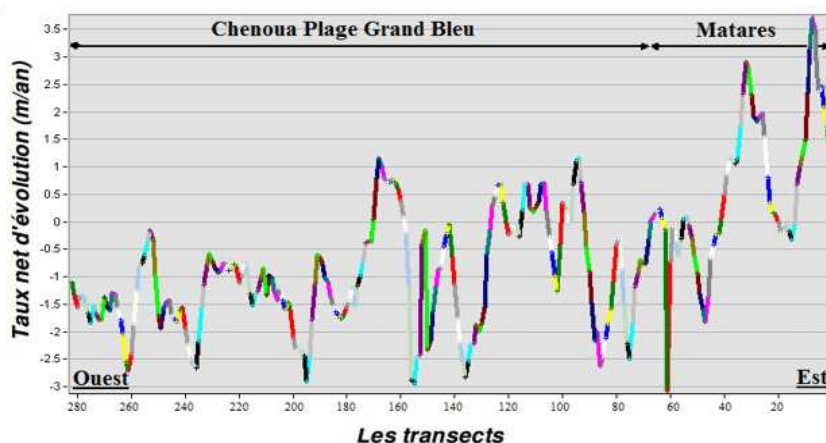


Figure IV.19 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Durant cette période, le rivage des plages étudiées (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) a connu une érosion de l'ordre de -11,12 m avec une vitesse moyenne de $-2,78 \text{ m. an}^{-1}$. Cependant, nous relevons un engraissement du rivage, entre les transects 10 et 5 (Matares) et entre 108 et 127 (Chenoua

Plage Grand Bleu), de 6,88 m soit un taux de vitesse de l'ordre de $1,72 \text{ m.an}^{-1}$ (Figure IV.20). Le recul enregistré pourrait être lié au fur et à mesure du renforcement des moyens humains et matériels de l'entreprise de réalisation du complexe touristique « Le Gand Bleu ». A cela s'ajoute la construction routière sur le cordon dunaire.

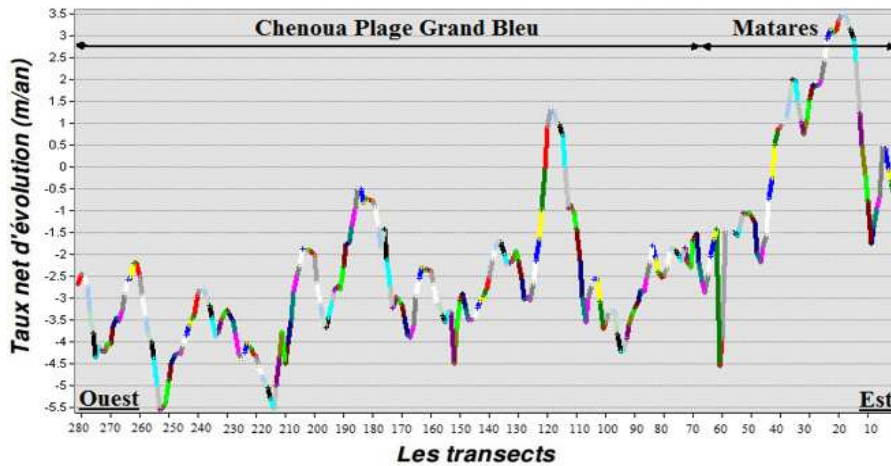


Figure IV.20 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

On a enregistré une érosion au niveau des transects 41 à 282 de -16.56 m sur une durée de 12 ans ce qui fait $-1,38 \text{ m.an}^{-1}$, sauf dans la partie Est de Matares, nous relevons une accumulation de $4,32 \text{ m}$ ($0,36 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.21). Cette tendance évolutive pourrait trouver son explication dans la variation des apports en sédiments d'oued El Nadour qui est dû probablement à la construction des barrages en amont de l'oued ou aux périodes de sécheresse, la grande fréquentation touristique surtout durant la période estivale et les développements socio-économiques (tourisme, agriculture) de la région.

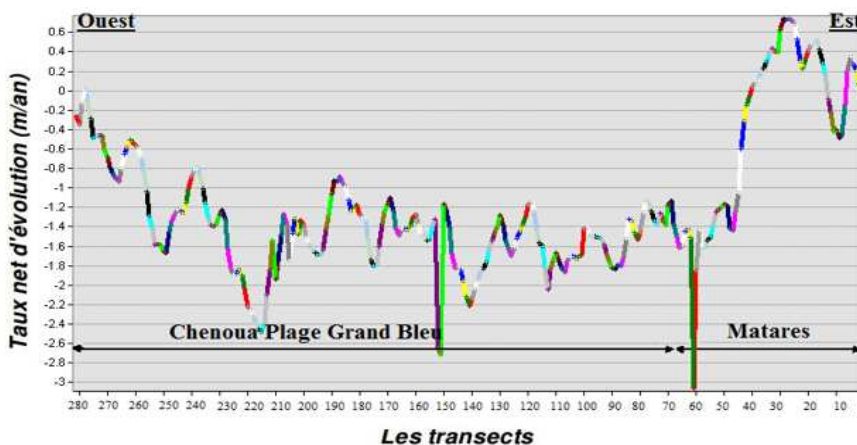


Figure IV.21 : Evolution du trait de côte au niveau des plages (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Matares et Chenoua Plage Grand Bleu) de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl pour une période de 12 ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.22) montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'érosion -38866,797 m² a pris l'avantage sur l'engraissement 6104,544771 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de - 37491,6648 m².

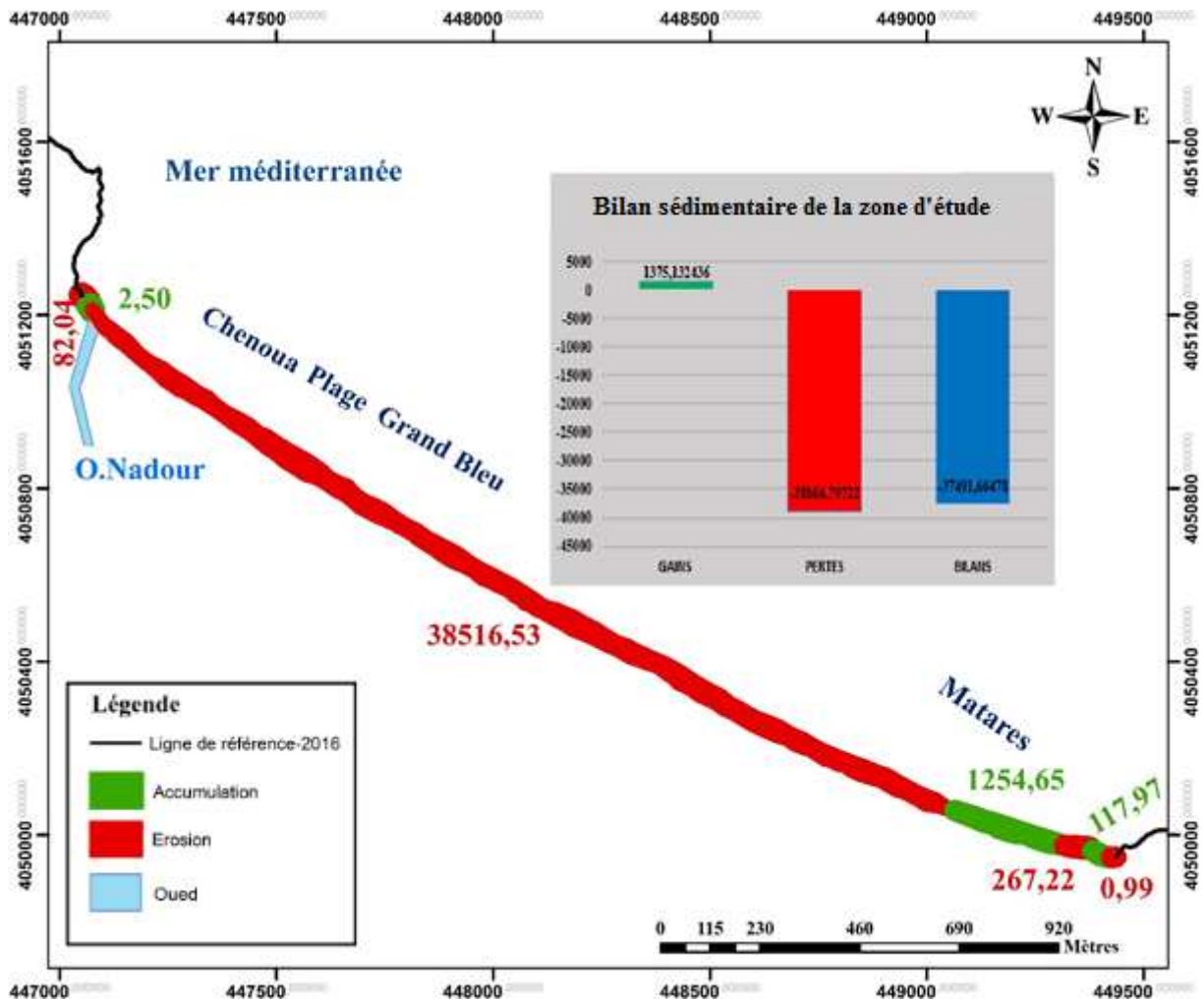


Figure IV.22 : Bilan sédimentaire de la partie Ouest de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 1) de 2004 à 2016.

IV.2.2.2. La partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre deuxième zone d'étude sur 1181 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.23) :

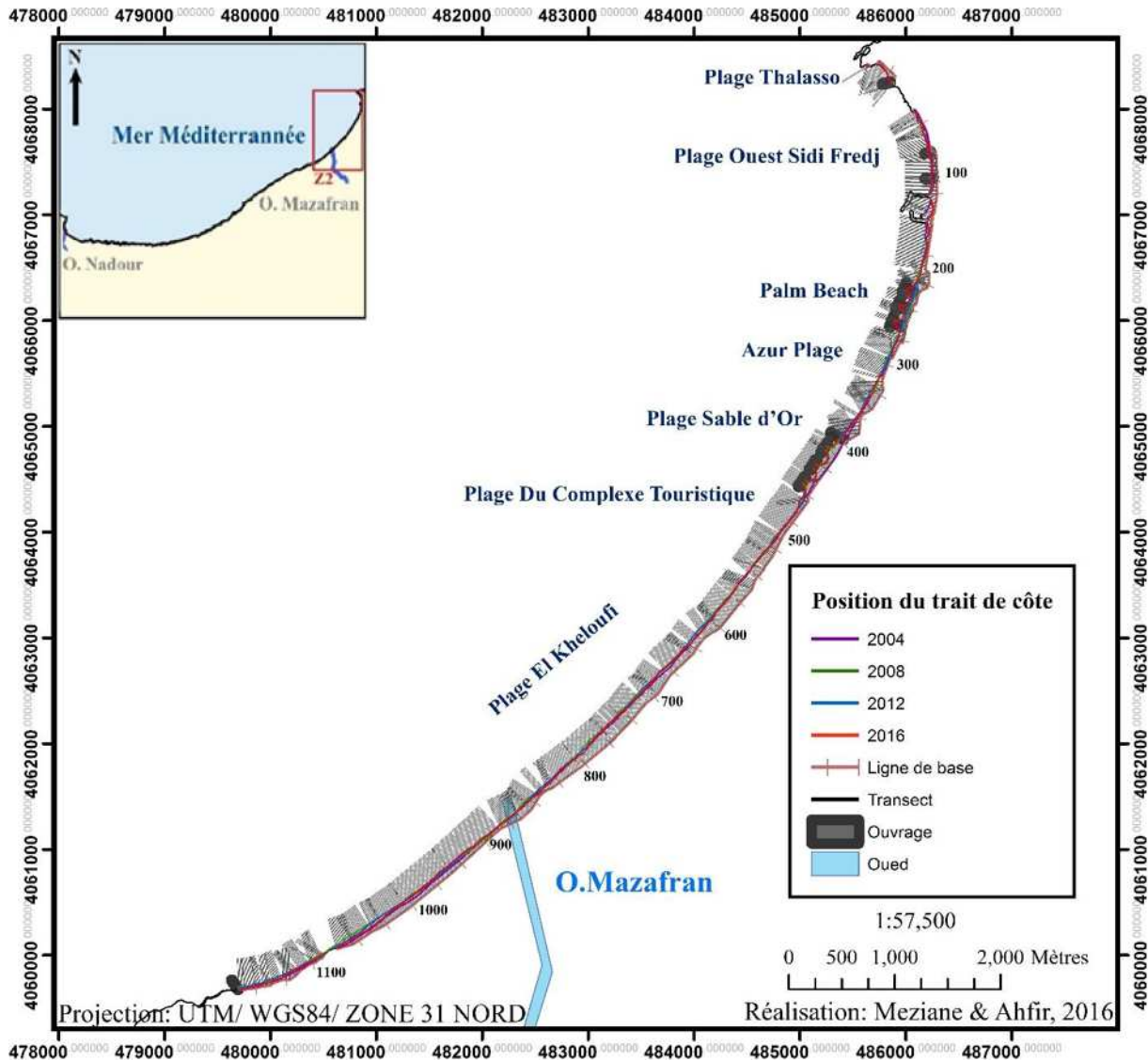


Figure IV.23 : Evolution de la ligne de côte de la partie Est de la baie de Bou-Ismaïl (Zone 2) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

L'évolution du trait de côte tout au long de cette période a connu un engraissement de l'ordre de 19,68 m ($4,92 \text{ m.an}^{-1}$), Cependant, certains transects ont connu un recul de l'ordre de -9,64 m ($-2,41 \text{ m.an}^{-1}$). Ce recul a été maximal de -78,76 m ($-19,69 \text{ m.an}^{-1}$) au niveau du transect 118 (plage Ouest de Sidi Fredj) (Figure IV.24). Cette avancé du trait de côte pourrait être justifiée par l'apport important en sédiment d'oued Mazafran ainsi à l'implantation des 3 brises lames et un épi droit au niveau de la plage Sable d'Or, ce qui a donné naissance à la formation des tombolos.

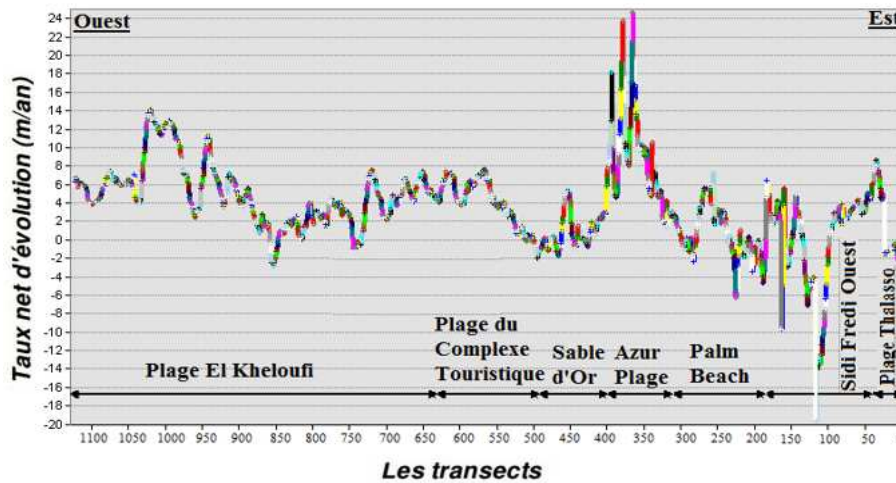


Figure IV.24 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Entre 2008 et 2012, la côte étudiée a subi une évolution contraire à celle de la période précédente avec des taux nets moyens de -8.16 m ($-2,04 \text{ m.an}^{-1}$). La tendance érosive marquée durant cette période pourrait être justifiée par les aménagements en épi droit et les trois brise-lames réalisés en 2008 plus l'extension du port en 2012 qui n'ont pas abouti à grande chose 8.16 m (2.03 m.an^{-1}) (Figure IV.25).

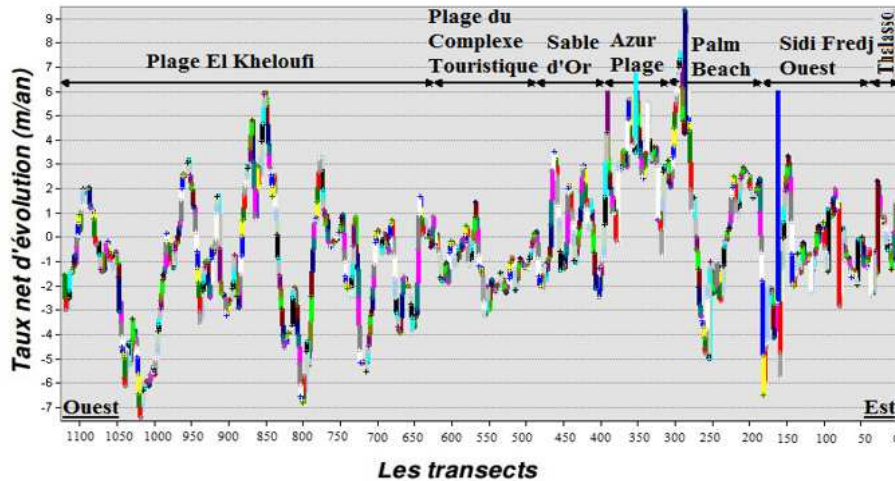


Figure IV.25 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Durant cette période, un pic d'engrassement de $152,92 \text{ m}$ (38.23 m.an^{-1}) a été enregistré au niveau du transect 164, cela est dû à l'implantation des trois épis en T et un droit en 2016 qui ont perturbé les zones voisines, ainsi à l'étalement urbain où on remarque l'arasement des

cordons dunaires en arrière-pays, d'où la tendance à l'érosion a continué le long de la côte avec une moyenne de $-16.4 \text{ m} (-4,10 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure IV.26).

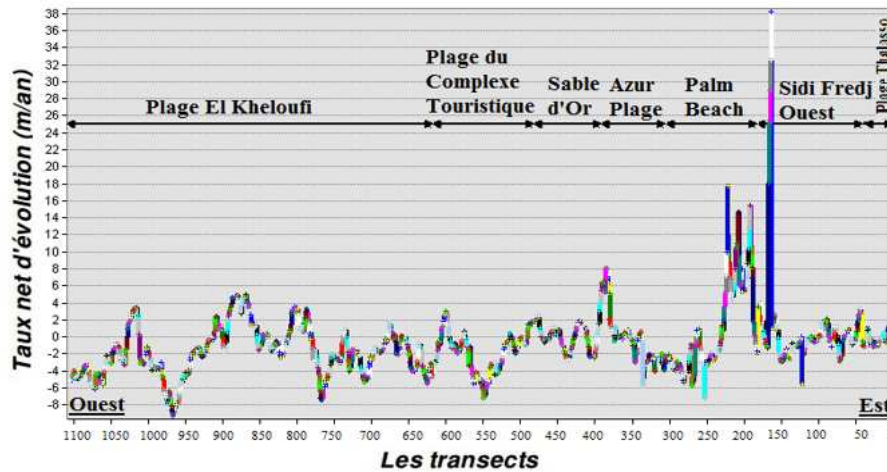


Figure IV.26 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

Pendant les 12 années, l'évolution de la ligne de rivage s'est caractérisé par un engraissement quasi-général sur toutes les plages étudiées, le taux net moyen de cette avancée est de $15,84 \text{ m} (1,32 \text{ m.an}^{-1})$ et atteint le pic de $50.64 \text{ m} (12.66 \text{ m.an}^{-1})$ au niveau du transect 149 (Figure IV.27).

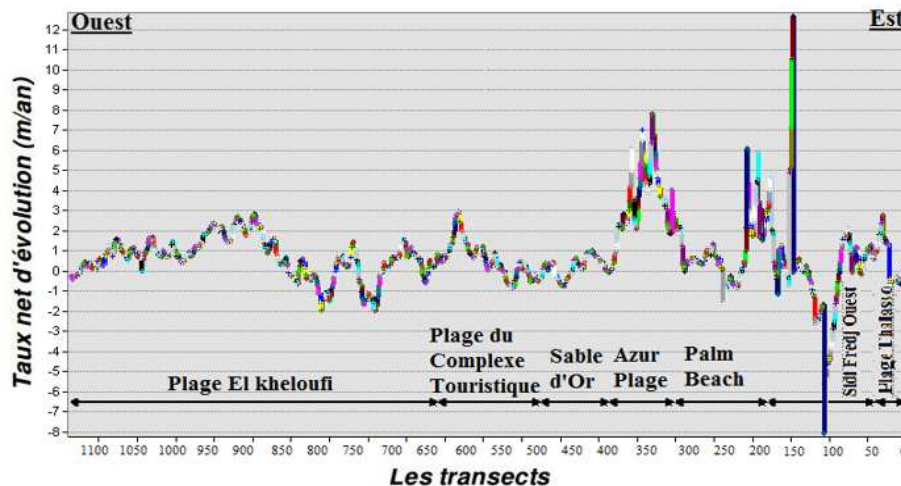


Figure IV.27 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Thalasso, Sidi Fredj Ouest, Palm Beach, Aur, Complexe Touristique, El-Kheloufi) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Douaouda, El Khaloufi, Complexe touristique, Sable d'Or, Azur, Palm Beach et Plage Ouest de Sidi Fredj) de la partie Est de la baie de Bou-Ismail pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.28) montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'engraissement 150078,0081 m² a pris l'avantage sur l'érosion -26275,7367 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 123802,271 m².

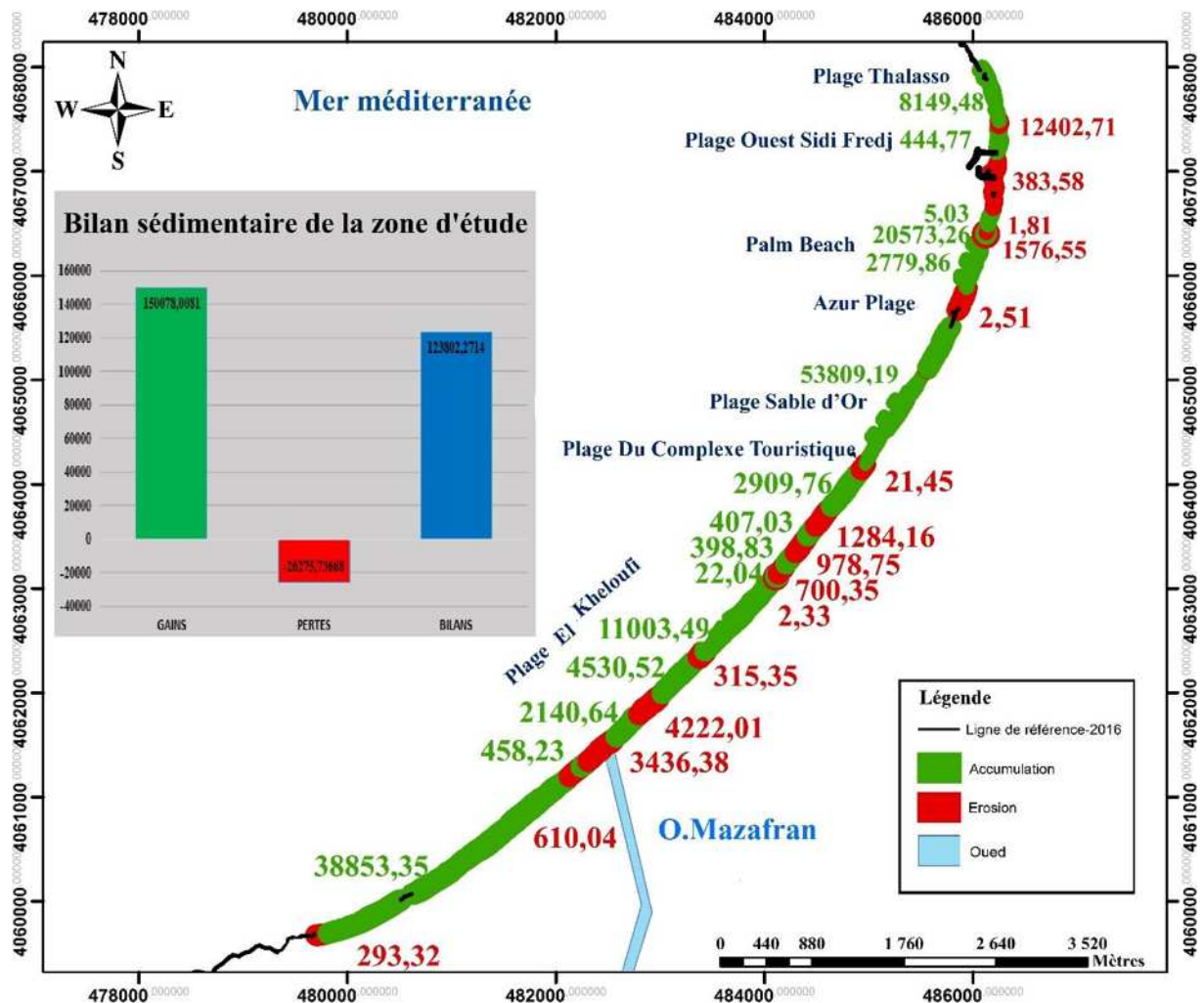


Figure IV.28 : Bilan sédimentaire de la partie Est de la baie de Bou-Ismail (Zone 2) de 2004 à 2016.

Figure IV.29 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) de la baie de Bou-Ismaïl entre 2004 et 2016.

<p>+9268 m²/an (Sur 1463 transects)</p> <p>+111211 m²</p>		<p>Taux</p> <p>Total</p>	
	<p>+ 1.29 m.an⁻¹</p> <p>- 1.10 m.an⁻¹</p>	<p>2004-2016</p>	<p>Vitesse de l'évolution</p>
	<p>+ 2.68 m.an⁻¹</p> <p>- 2.58 m.an⁻¹</p>	<p>2012-2016</p>	
	<p>+ 2.03 m.an⁻¹</p> <p>- 2.04 m.an⁻¹</p>	<p>2008-2012</p>	
	<p>+ 4.70 m.an⁻¹</p> <p>- 2.03 m.an⁻¹</p>	<p>2004-2008</p>	
			<p>Localisation des zones mesurées</p>
<p>Direction de l'évolution :</p> <p> Accrétion 2004-2016 Erosion 2004-2016 </p>		<p> Ligne de référence 2016 Accrétion Erosion </p>	
		<p>Projection : Universal Transverse Mercator Zone 31 Nord, Ellipsoïde WGS84 Amorces du quadrillage métrique UTM (Chiffrés tous les 7000m)</p>	
		<p>Réalisation : Meziane & Ahfir, 2016</p>	

IV.2.3. LA BAIE D'ALGER:

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte a été étudiée sur la partie Centre et sur la partie Est de la baie d'Alger sur 729 transects. Quatre zones d'étude ont été choisies sur ce littoral (Figure IV.30).

Cette analyse diachronique du trait de côte, 2004 à 2016, met en évidence un découpage spatial de la plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps.

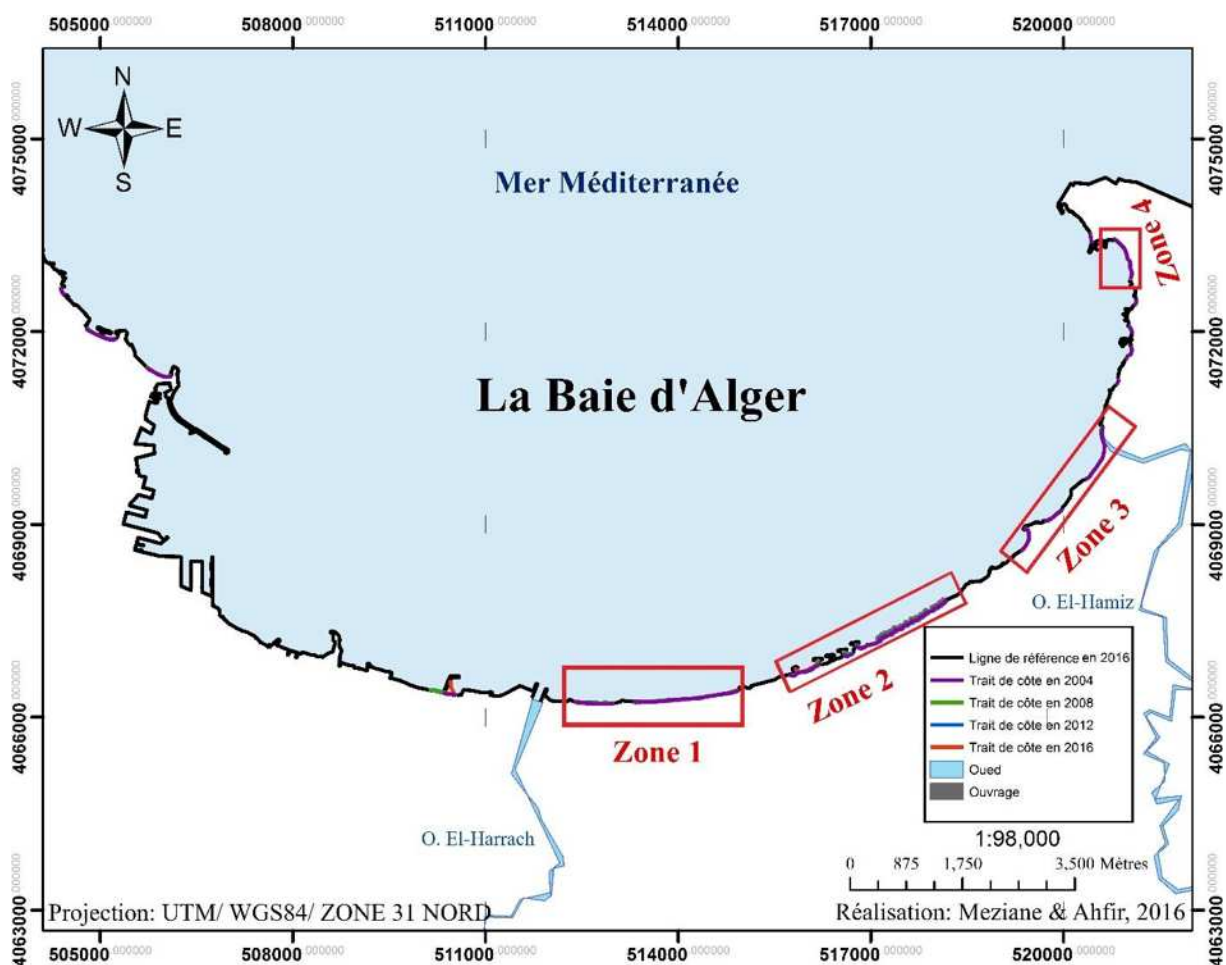


Figure IV.30 : Localisation des zones d'études.

IV.2.3.1. La partie Centre de la baie d'Alger (zone 1)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre première zone d'étude sur 233 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.31) :

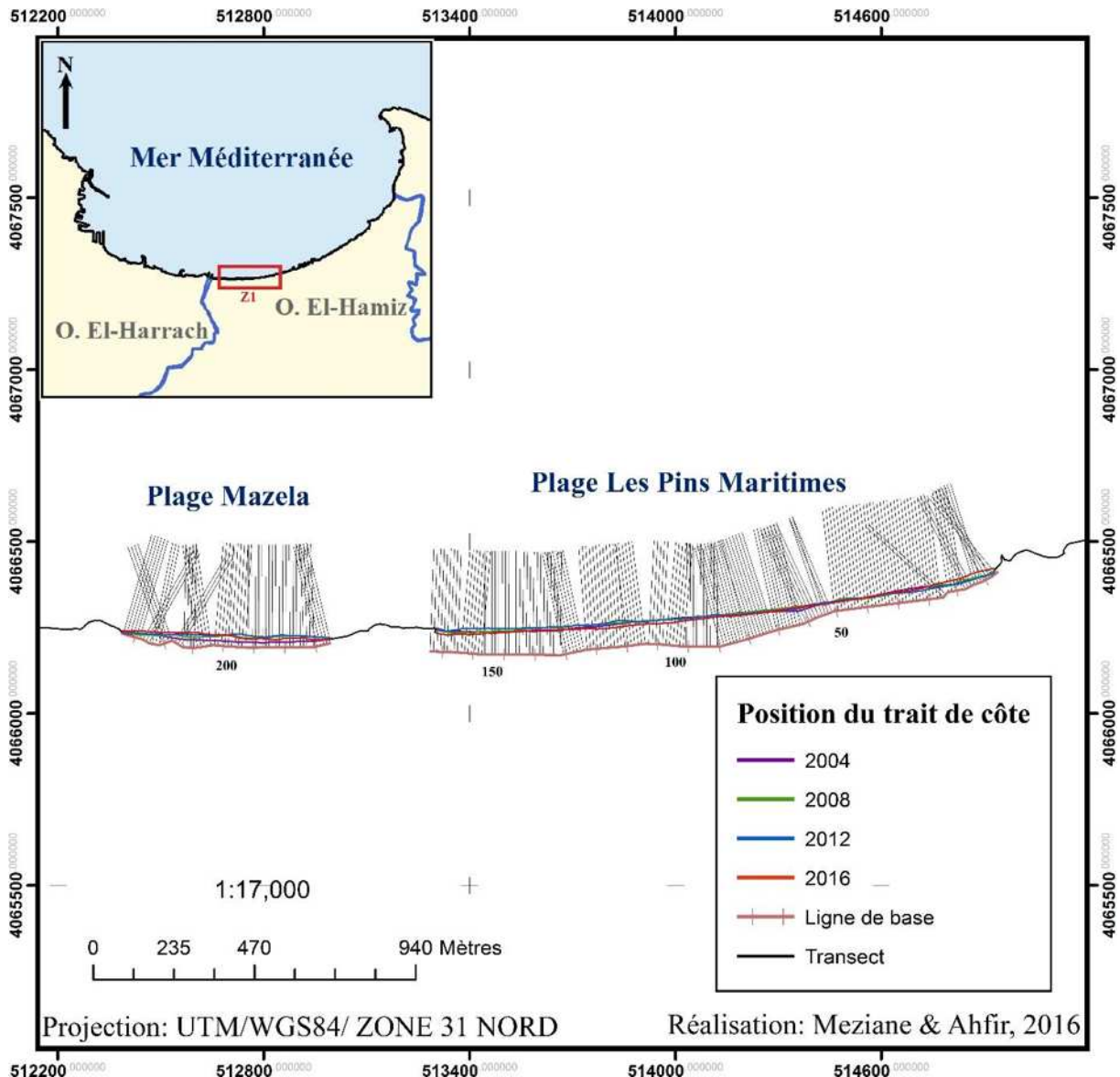


Figure IV.31 : Evolution de la ligne de côte de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone 1) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Durant cette période, le rivage des plages Mazella et Pins Maritimes a connu un avancé généralisé sur 166 transects de l'ordre de 6,96 m ($1,74 \text{ m.an}^{-1}$). Cette avancée a été maximale de -18.24 m ($4,56 \text{ m.an}^{-1}$) au niveau du transect 184 (plage Mazella) (Figure IV.32). L'accrétion de ces plages pourrait trouver son explication dans l'importance des apports sédimentaires de l'oued El-Harrach.

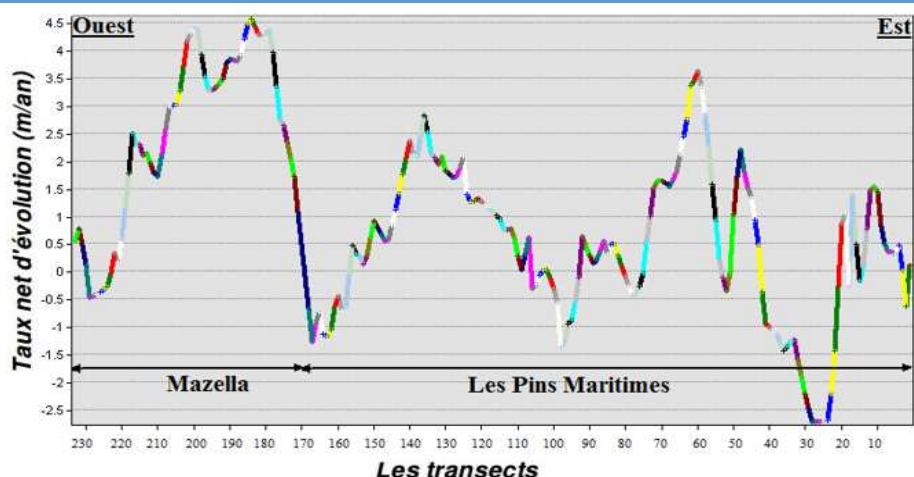


Figure IV.32 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2004 et 2016.

- **Période 2008-2012**

Durant cette période, on a enregistré une faible tendance à l'engraissement par rapport aux années précédentes, nous passons d'un secteur en accumulation à un secteur en érosion $-3,44 \text{ m} (-0,86 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure IV.33). Cet état pourrait être lié au lancement des travaux de réalisation de l'hyper marché Ardis en 2008.

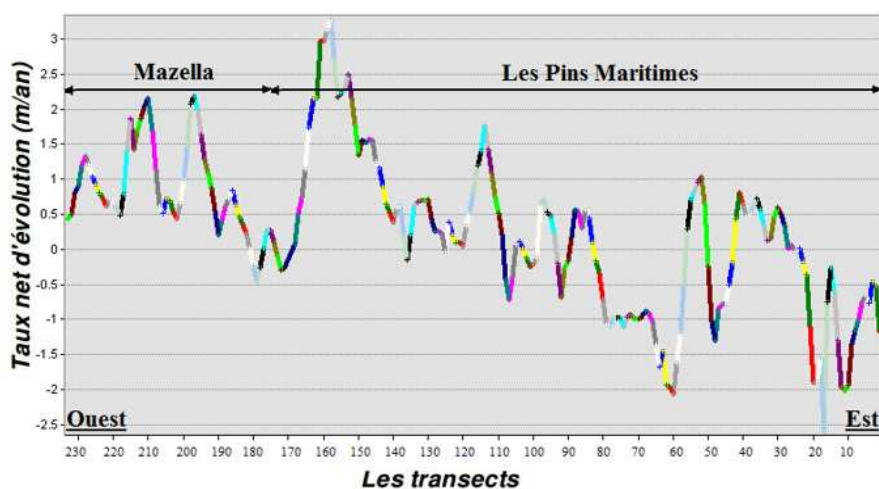


Figure IV.33 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Pour cette période, la tendance à l'engraissement se continue à diminuer au niveau de la plage de Mazela, cette dernière pourrait être lié au fur et à mesure du renforcement des moyens humains et matériels de l'entreprise de réalisation de l'hyper marché Ardis. A cela s'ajoute la construction routière sur le cordon dunaire. Inversement, on a enregistré un recul important du rivage au niveau de la plage

Pins Maritimes, sauf dans sa partie Est, nous relevons un pic d'accrétion (transect 8) de 17,8 m (4.45 m.an^{-1}) (Figure IV.34). Ce recul pourrait être lié aux développements socio-économiques de la région.

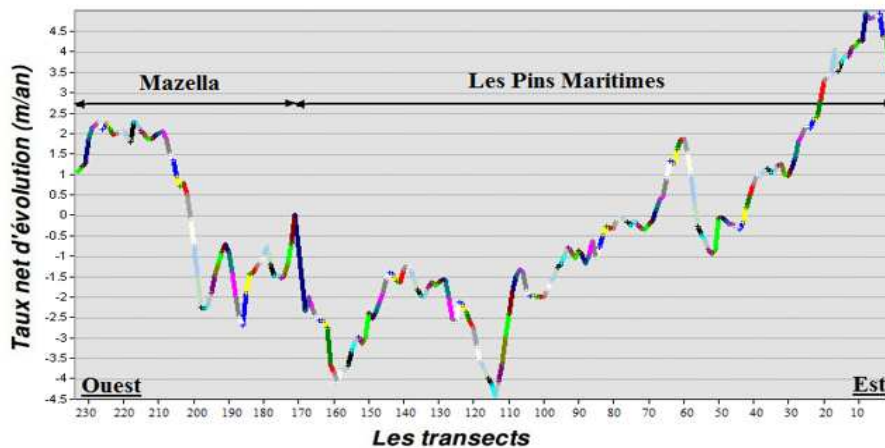


Figure IV.34 : Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

Durant les 12 années, on a enregistré un engraissement du trait de côte sur 122 transects de l'ordre de 9,12 m ($0,76 \text{ m.an}^{-1}$), ainsi nous relevons une érosion sur 109 transects de l'ordre de -5,52 m ($-0,46 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.35). Le taux net d'évolution du trait de côte a été modéré et contrasté d'un site à un autre, ce contraste pourrait trouver son explication dans l'aménagement de l'oued El-Harrach et son apport en sédiments survenue pendant ces dernière années. A cela s'ajoute les phénomènes de l'explosions de l'urbanisme en arrière-pays et aux développements socio-économiques.

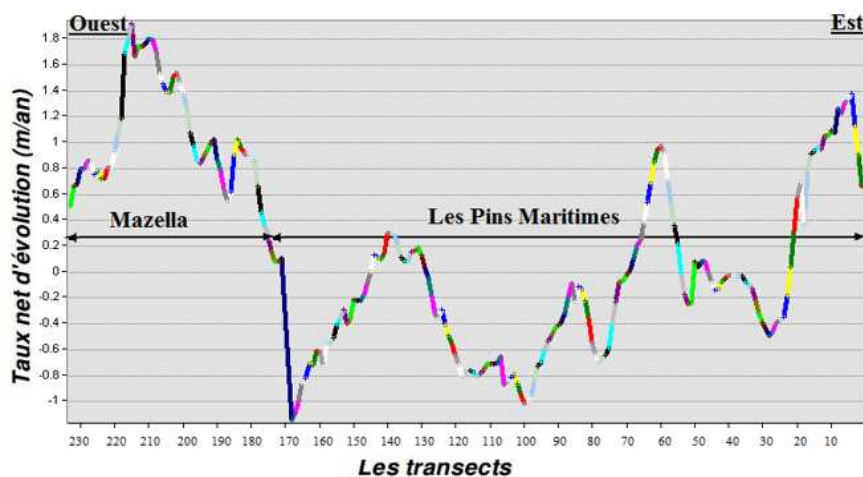


Figure IV.35: Evolution du trait de côte au niveau des plages. (Les Pins Maritime et Mazella) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Les Pins Maritime et Mazella) de la partie Centre de la baie d'Alger pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.36) montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'engraissement 10550,0081 m² a pri l'avantage sur l'érosion -6048,93073 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 4051,60706 m².

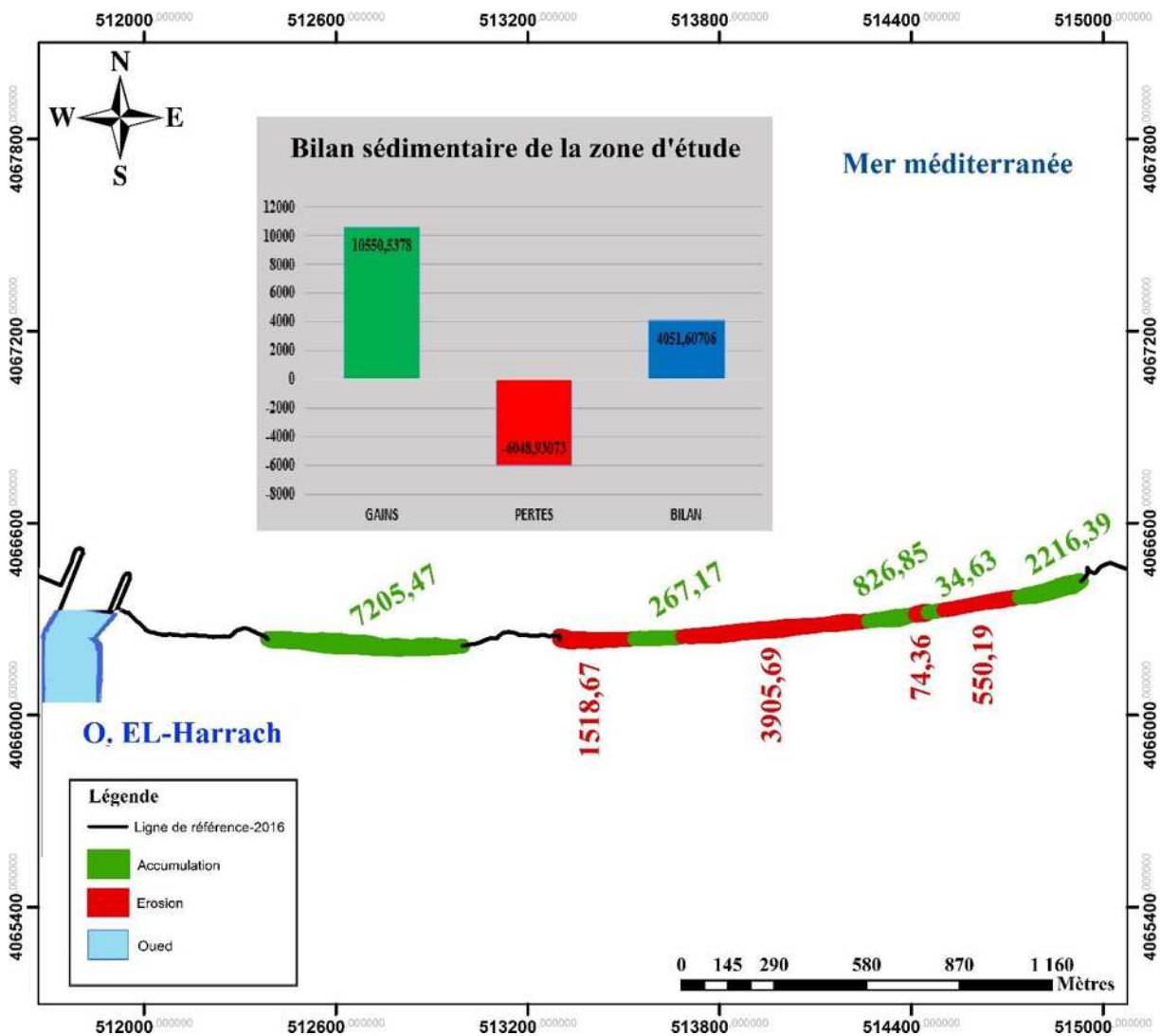


Figure IV.36 : Bilan sédimentaire de la partie Centre de la baie d'Alger (zone 1) de 2004 à 201

IV.2.3.2. La partie Centre de la baie d'Alger (zone 2)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre deuxième zone d'étude sur 234 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.37) :

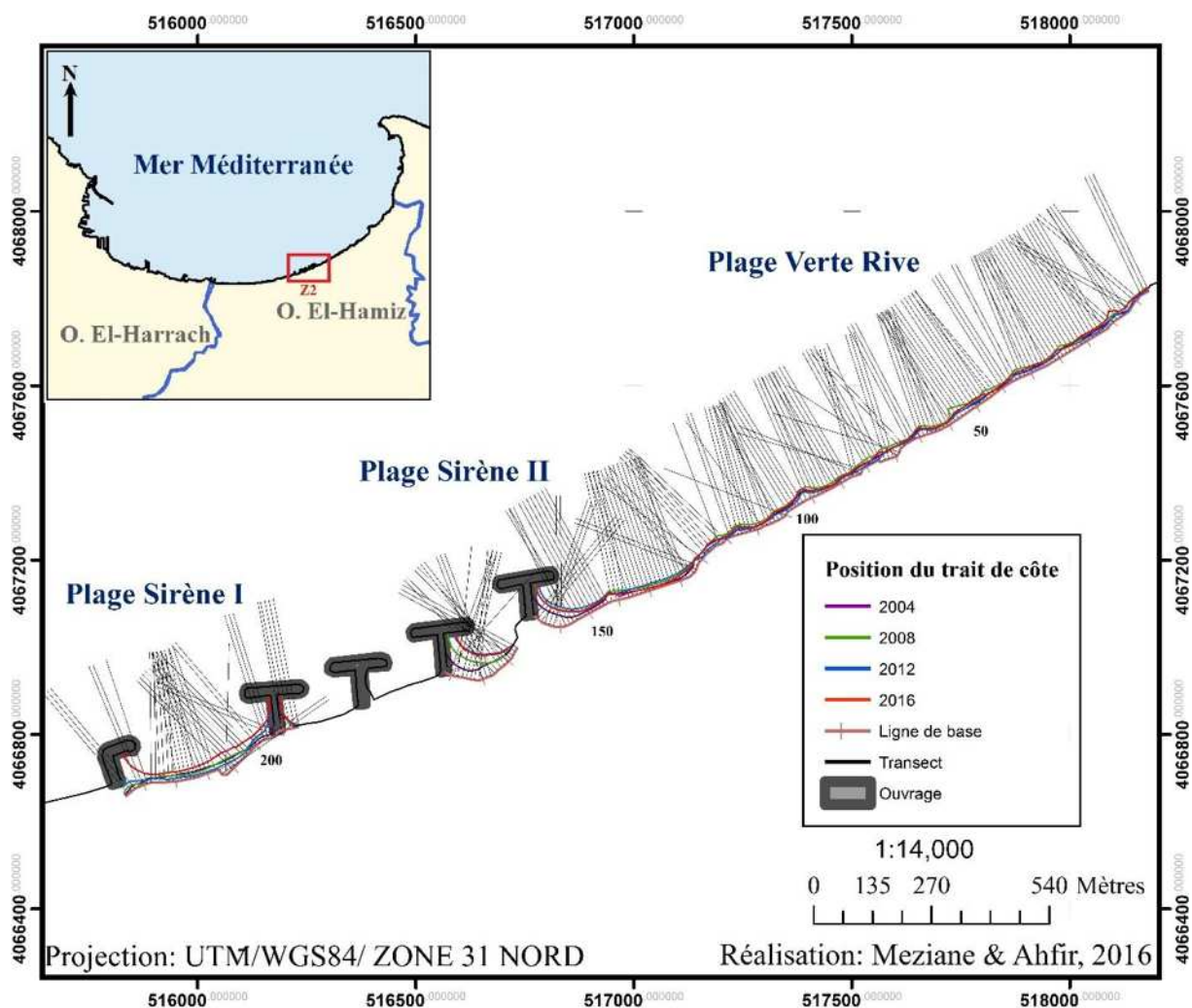


Figure IV.37 : Evolution de la ligne de côte de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone 2) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Durant cette période, le rivage des plages la Sirène I, Sirène I et Verte Rive a connu une avancé généralisée de l'ordre de 7,64 m ($1,91 \text{ m.an}^{-1}$), nous relevons un pic d'engraissement de 63,36 m ($15,84 \text{ m.an}^{-1}$) à l'endroit du transect 191 (Figure IV.38). Cette accrétion des plages pourrait trouver son

explication dans l'implantation des épis : 4 épis en T au niveau de la plage Sirène et 15 épis droit en 2004 au niveau de la plage Verte Rive, en 2004, qui ont piégé les sédiments à leurs niveaux.

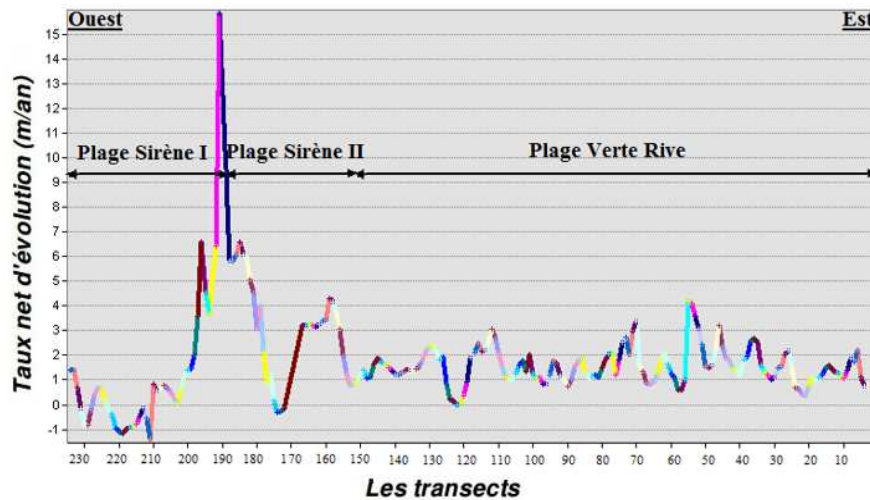


Figure IV.38: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Verte Rive, Sirène I, Sirène I) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Pour cette période (Figure IV.39), la tendance à l'engraissement se continue avec un ordre de 9,56 m (2,39 m.an⁻¹), cela pourrait être dû à la présence des 4 épis implantés en 2004 ainsi à l'ajout d'un épi en L au niveau de la plage la sirène I en 2012.

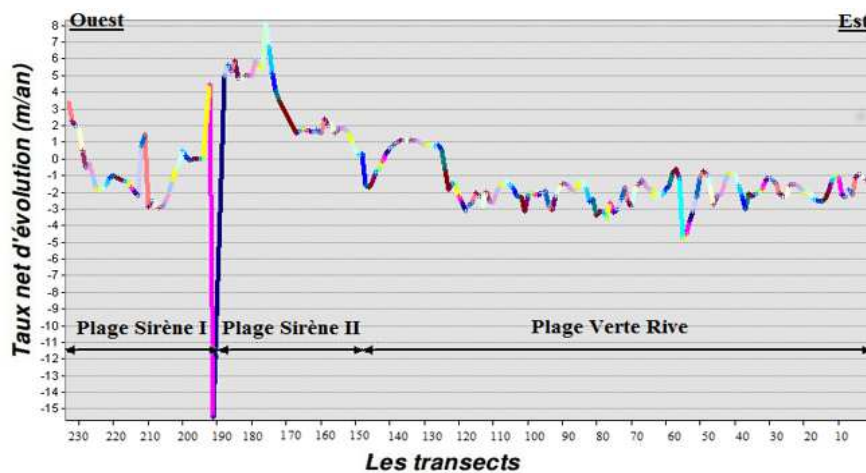


Figure IV.39: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Verte Rive, Sirène I, Sirène I) entre 2008 et 2012.

Inversement, on a enregistré un recul important du rivage de l'ordre de -7,76 m (-1,94 m.an⁻¹) dont nous relevons un pic remarquable de 61,96m (-15,49 m.an⁻¹) au niveau du transect 191, cela pourrait être lié à l'impact des activités humaines. On remarque que la côte est fortement modifiée par l'anthropisation avec les extensions des zones urbains et l'arasement total du cordon dunaire

- **Période 2012-2016**

Durant cette période, on a enregistré un recul du rivage de l'ordre de -5,28 m (-1,32 m.an⁻¹), ainsi nous relevons une tendance à l'engraissement surtout au niveau de la plage Verte Rive de l'ordre de 8,44 m (2,11 m.an⁻¹) (Figure IV.40). Cette tendance évolutive est liée aux développements socio-économiques de la région.

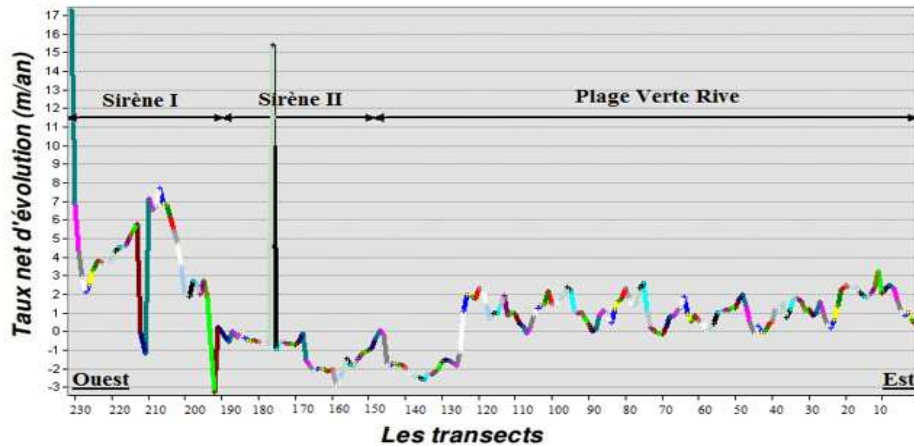


Figure IV.40: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Verte Rive, Sirène I, Sirène I) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- *Période 2004-2016*

Durant les 12 ans, la tendance évolutive du trait de côte des plages étudiées (Sirène I, Sirène I et Verte Rive) a connu un léger engraissement de l'ordre de 9,6 m (0,80 m.an⁻¹) (Figure IV.41). Cela pourrait être probablement lié à un rechargement artificiel des plages étudiées vu que leur rivage est fortement modifié par les activités anthropiques où les cordons dunaires en arrière plages sont totalement consommés par les travaux d'extensions urbains et le rivage des plages étudiées est en voie de disparition total.

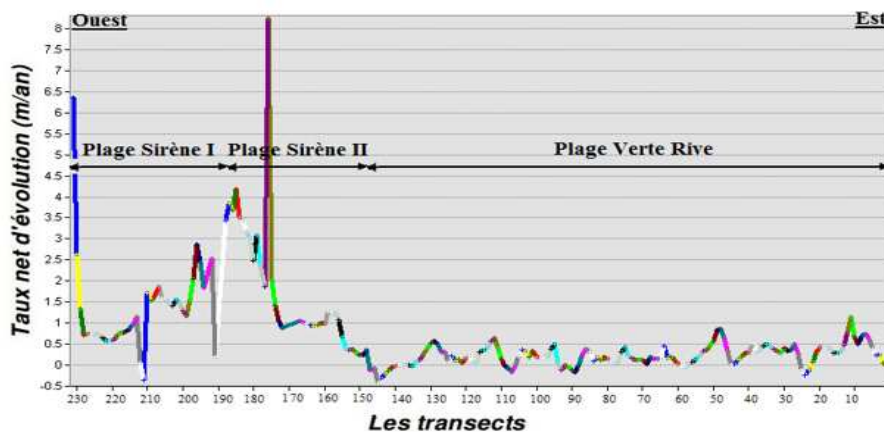


Figure IV.41: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Verte Rive, Sirène I, Sirène I) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Verte Rive, Sirène I, Sirène I) de la partie Centre de la baie d'Alger pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.42) montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'engraissement 22807,6535 m² a pris l'avantage sur l'érosion -386,353815 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 22421,2997 m².

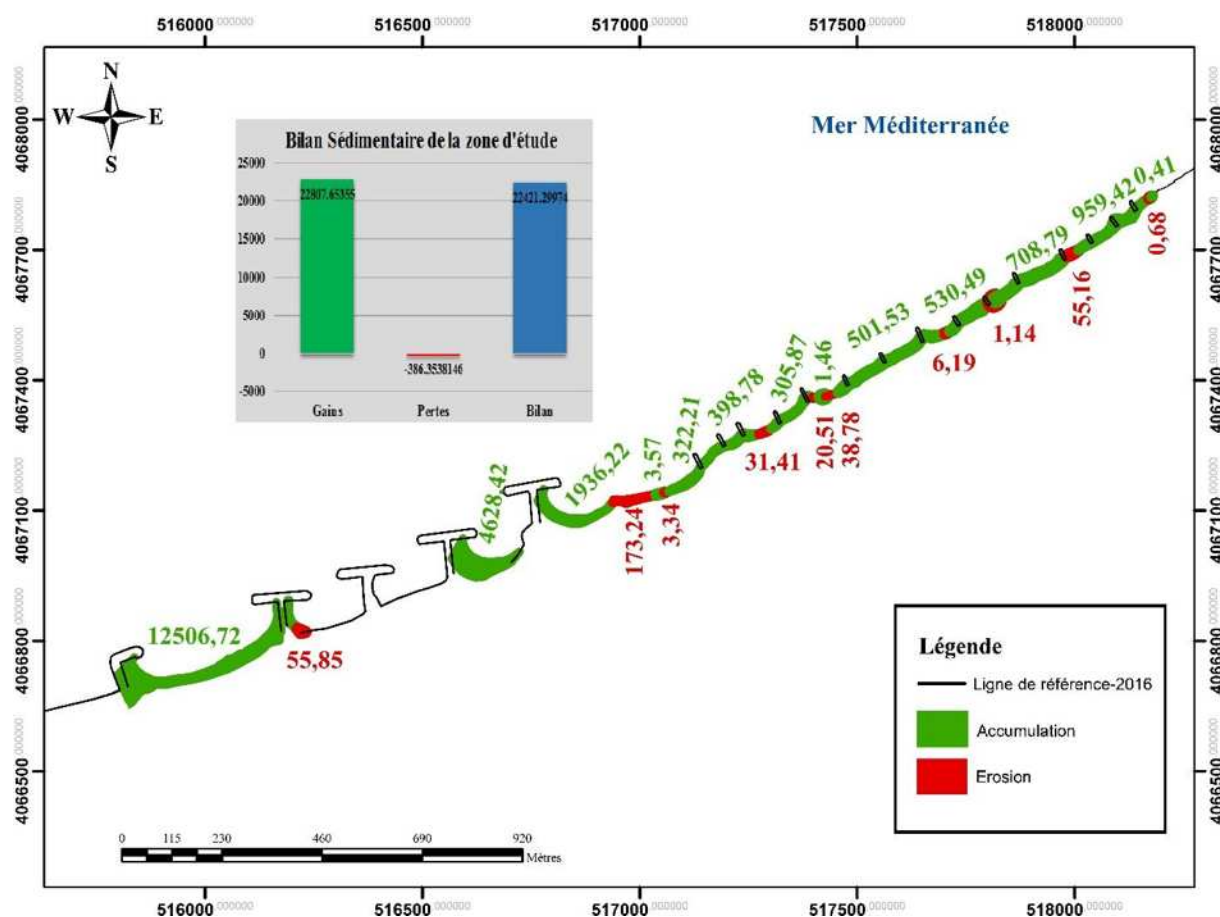


Figure IV.42 : Bilan sédimentaire de la partie Centre de la baie d'Alger (Zone 2) de 2004 à 2016.

IV.2.3.3. La partie Est de la baie d'Alger (zone 3)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre troisième zone d'étude sur 186 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.43) :

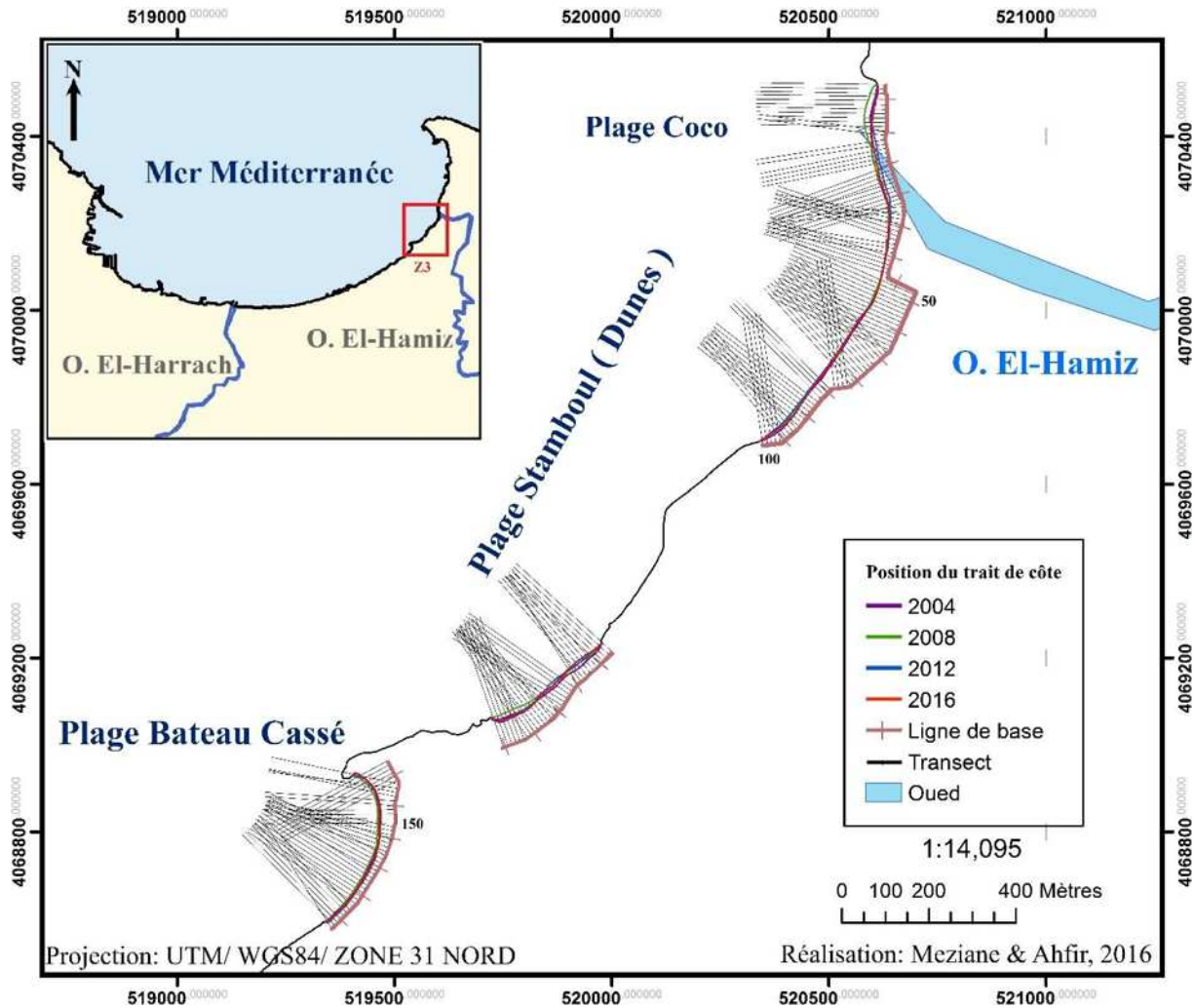


Figure IV.43 : Evolution de la ligne de côte de la partie Est de la baie d'Alger (Zone 3) entre 2004 et 2016 et position des transects

- **Période 2004-2008**

Durant cette période, l'évolution de la ligne de rivage s'est caractérisée par un engraissement important de toutes les plages étudiées (Bateau Cassé, Stamboul et Coco), le taux net d'engraissement est de l'ordre de 4,76 m ($1,19 \text{ m.an}^{-1}$), dont le taux d'engraissement maximal est enregistré à l'endroit du transect 9 (plage Coco). Cependant, à la partie ouest de la plage coco certains transects ont connu un recul de l'ordre de -1,32 m ($-0,33 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.44). Cette tendance évolutive pourrait être liée aux apports important en sédiments d'oued El Hamiz.

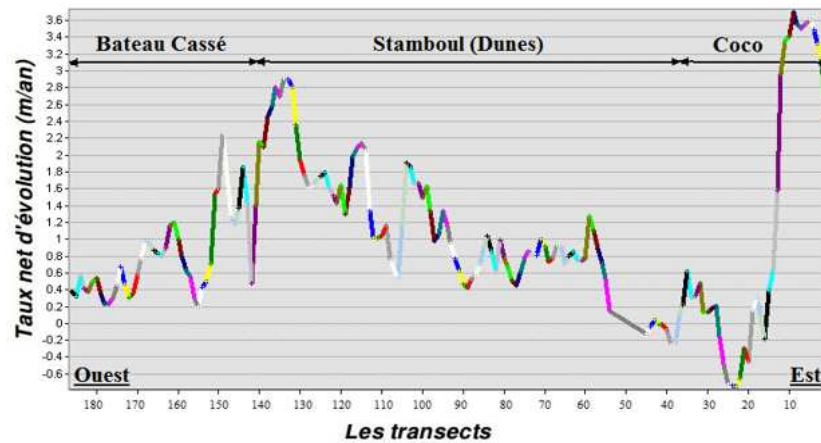


Figure IV.44: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Inversement aux années précédentes, entre 2008 et 2012 les plages étudiées ont connu un recul généralisé, surtout au niveau de la plage Coco et la plage bateau cassé où le taux net moyens de recul est de l'ordre de -7,48 m ($-1,87 \text{ m.an}^{-1}$). Sauf au niveau de la plage Stamboul on a enregistré une légère accrétion de l'ordre de 2 m ($0,50 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.45).

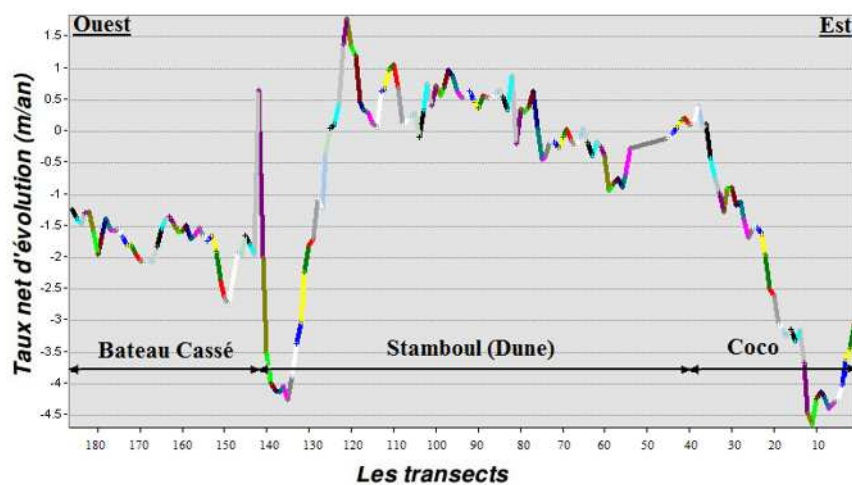


Figure IV.45: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2008 et 2012.

Cette évolution pourrait être justifiée par la grande fréquentation touristique surtout durant la période estivale ainsi à la réduction des apports en sédiments d'oued El Hamiz qui est dû probablement à la construction des barrages en amont de l'oued ou au période de sécheresse prolongé.

- **Période 2012-2016**

Durant cette période, la tendance à l'érosion se continué sur le rivage des plages étudiées avec un taux net moyens de l'ordre de -2,84 m ($-0,71 \text{ m.an}^{-1}$), avec un pic de recul enregistré au niveau du

transect 142 de l'ordre de $-8,40 \text{ m}$ ($-2,10 \text{ m.an}^{-1}$). Cependant nous relevons quelques endroits d'engraissement de l'ordre de $2,76 \text{ m}$ ($0,69 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.46). Cette érosion pourrait être expliquée par le piétinement surtout durant la période estivale, l'extension des zones urbaines, l'arasement des cordons dunaires en arrière plages ainsi à la réduction des apports en sédiments d'oued El Hamiz.

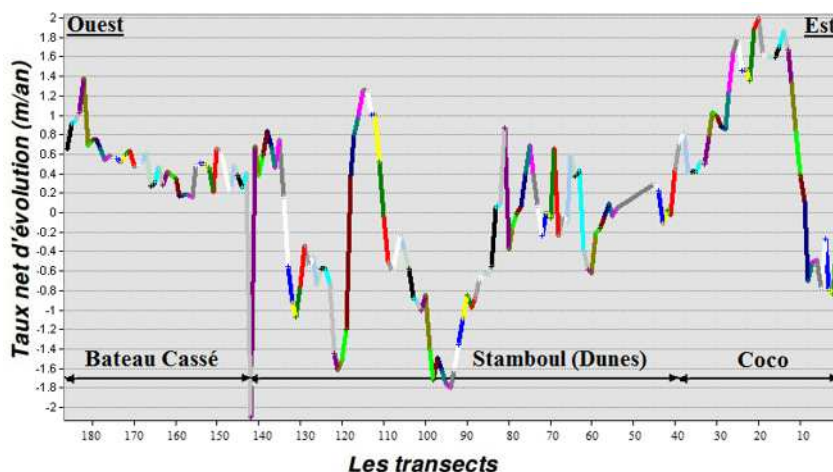


Figure IV.46: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

Durant les 12 ans, on a enregistré un engraissement de l'ordre de $3,48 \text{ m}$ ($0,29 \text{ m.an}^{-1}$), avec un pic d'engraissement au niveau du transect 117 (plage Stamboul). Ainsi nous relevons une érosion de l'ordre de $-2,64 \text{ m}$ ($-0,22 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.47). Le taux net d'évolution du trait de côte a été modéré et contrasté d'un site à un autre, ce contraste pourrait trouver son explication dans la variation des apports en sédiments de l'oued El Hamiz survenue pendant ces dernières années. A cela s'ajoute la pression anthropique en arrière-pays.

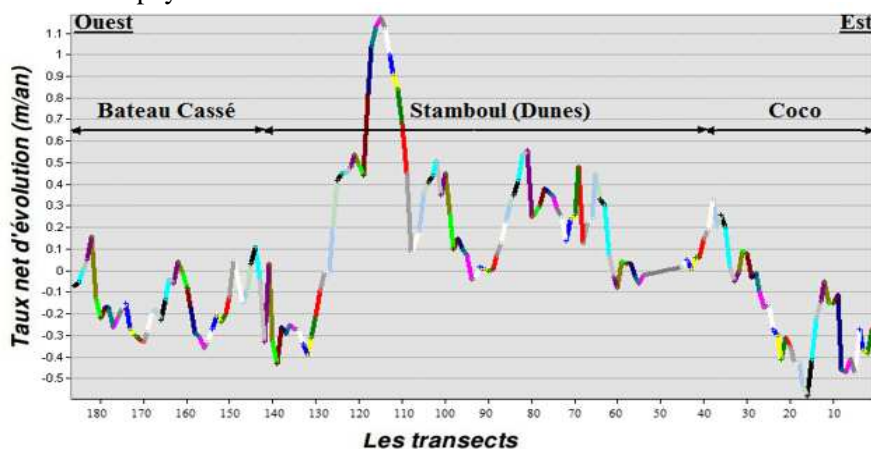


Figure IV.47: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Coco, Stamboul, Bateau cassé) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Coco, Stamboul, Bateau cassé) de la partie Est de la baie d'Alger pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.48) montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'engraissement 2778,61891 m² a pris l'avantage sur l'érosion -2272,67307 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan positif avec une valeur de 505,945831 m².

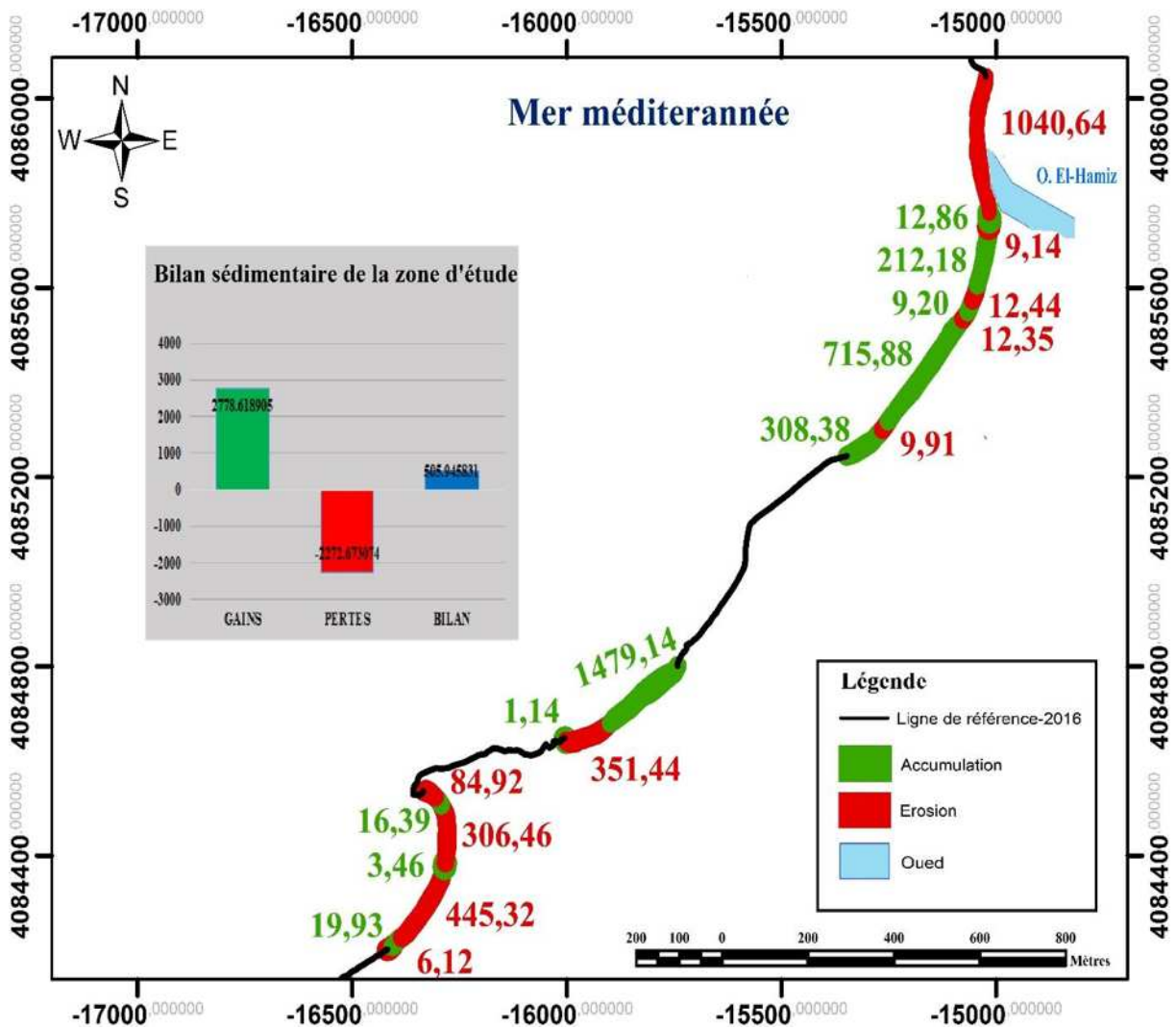


Figure IV.48 : Bilan sédimentaire de la partie Est de la baie d'Alger (Zone 3) de 2004 à 2016.

IV.2.3.4. La partie Est de la baie d'Alger (zone 4)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre quatrième zone d'étude sur 76 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.49) :

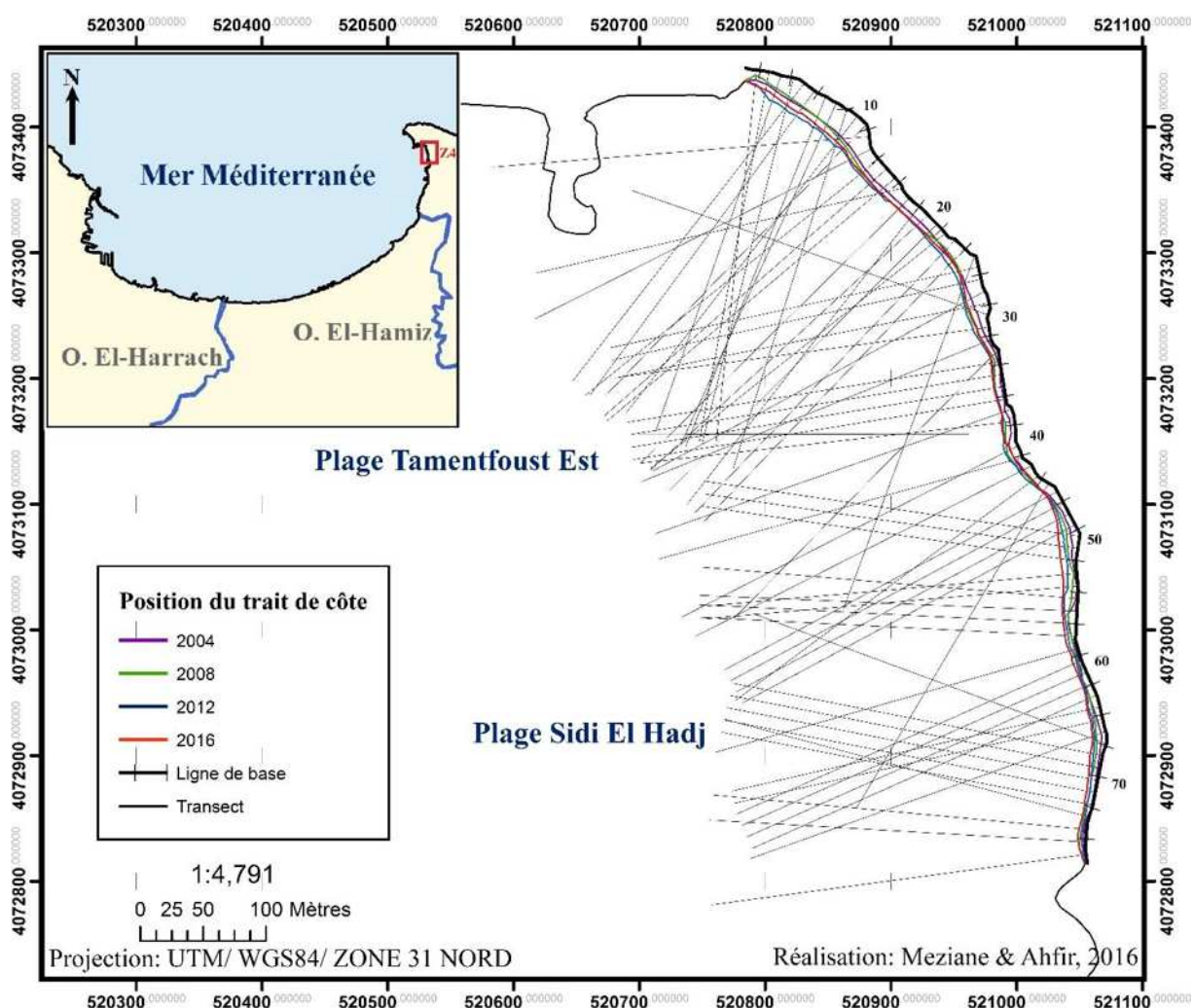


Figure IV.49 : Evolution de la ligne de côte de la partie Est de la baie d'Alger (zone 4) entre 2004 et 2016 et position des transects

- **Période 2004-2008**

Cette période a enregistré un avancé de la ligne de rivage de l'ordre de 3,04 m (0,76 m.an-1), ainsi nous relevons un recul léger dont sa valeur moyenne sur toute la côte est de l'ordre de -1,28 m (-0,32 m.an-1) (Figure IV.50). Cet engraissement pourrait être lié probablement aux piégeages des sédiments en transit par la jetée secondaire du port.

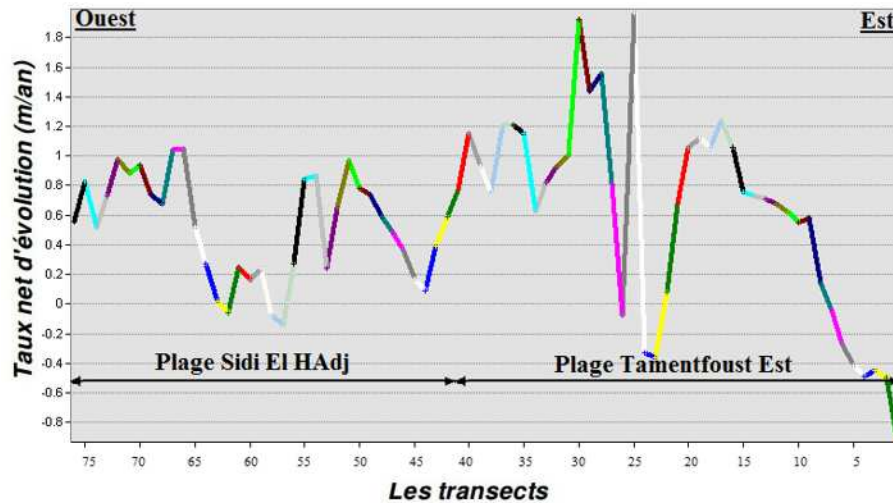


Figure IV.50: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Durant cette période, la tendance à l'engraissement se continue sur le rivage des plages étudiées dont le taux net moyen est de l'ordre de 3,32 m ($0,83\text{m}\cdot\text{an}^{-1}$), sauf à l'Est de la plage Sidi El Hadj, entre les transects 70 et 76, on a enregistré un recul de l'ordre de -0,76 m ($-0,19\text{ m}\cdot\text{an}^{-1}$) (Figure IV.51).

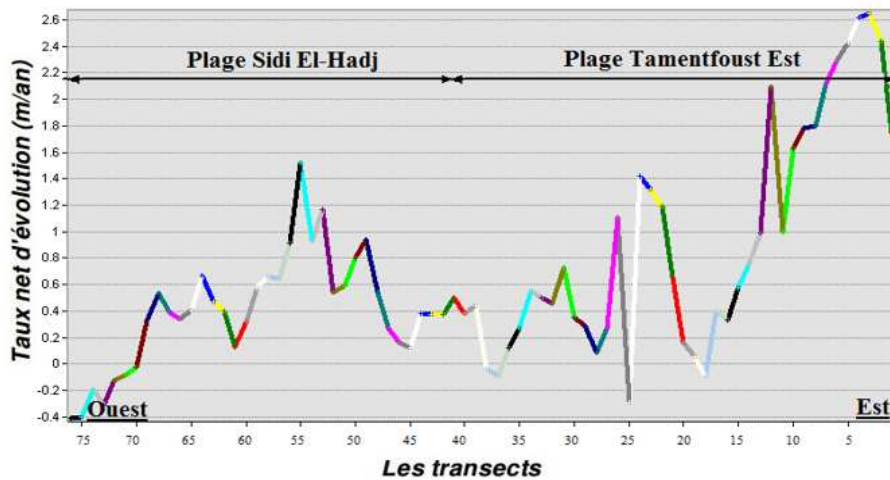


Figure IV.51: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

L'analyse de l'évolution du trait de côte sur toute la période allant de 2012 à 2016, nous a laissé constater une très forte érosion au niveau de la plage Tamentfoust Est. Ce recul s'observe, aussi, au niveau de la plage Sidi El Hadj (transects 40 à 46), les valeurs de recul enregistrées au niveau de ces deux sites ont atteint la valeur de -2,25 m ($-0,64\text{ m}\cdot\text{an}^{-1}$) (Figure IV.52). Ce recul pourrait être lié à

l'extension de la jetée secondaire du port en 2016, ainsi à la pression anthropique en arrière-pays qui ont probablement perturbé la zone d'études. Cependant, la partie Ouest de la plage de Sidi El Hadj (transects 47 à 76) a connu un avancé, dont le taux net est de l'ordre de $1,88 \text{ m.an}^{-1}$ à $0,47 \text{ m.an}^{-1}$.

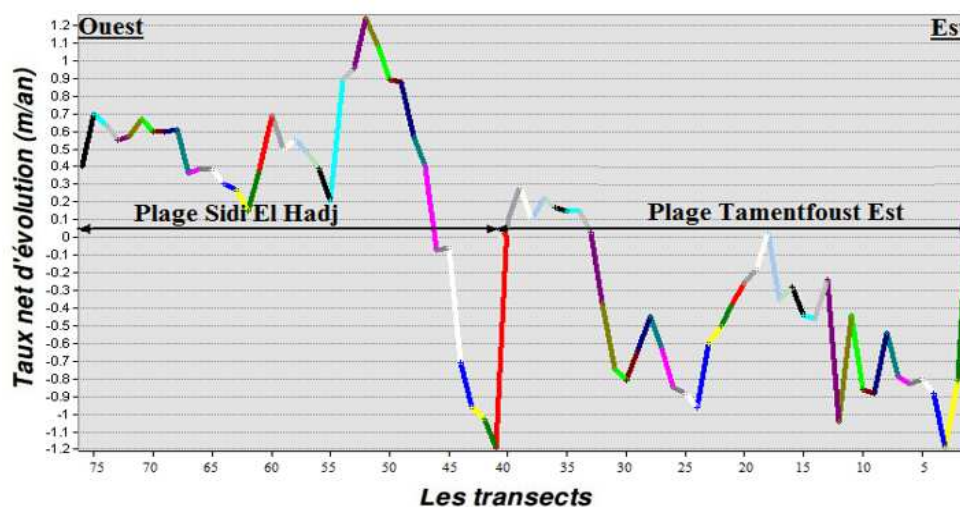


Figure IV.52: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

Durant les 12 ans, la côte étudiée a connu un engraissement généralisé au niveau des plages Tamentfoust Est et Sidi El Hadj, le taux net moyen de cette avancée du trait de côte est de l'ordre de $5,04 \text{ m}$ ($0,42 \text{ m.an}^{-1}$). Sauf entre les transects 41 à 45, nous relevons une érosion de $0,72 \text{ m}$ ($-0,06 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.53). Cela pourrait être probablement lié à un rechargement artificiel des plages étudiées vu que leur rivage est fortement modifié par les activités anthropiques où les cordons dunaires en arrière-pays sont totalement consommés par les travaux d'extensions urbains.

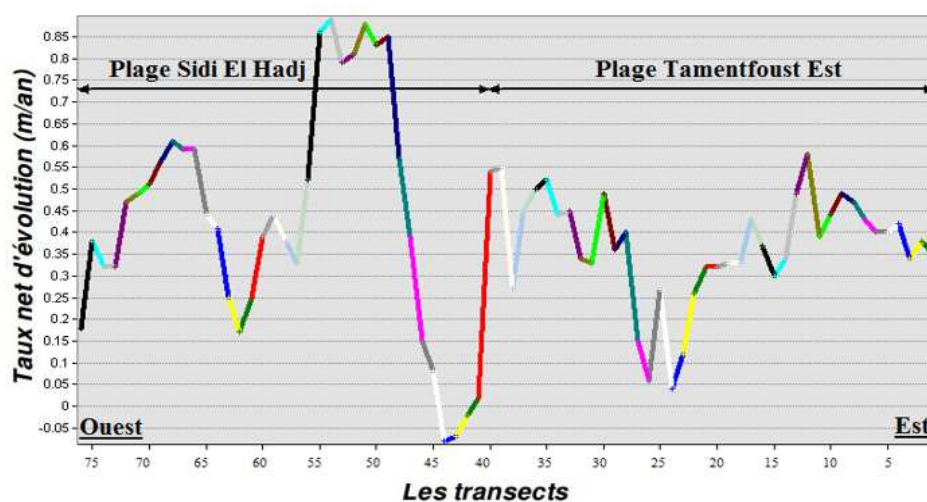


Figure IV.53: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Tamentfoust Est, Sidi El Hadj) de la partie Est de la baie d'Alger pour une période de 12 ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion.

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.54) montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'engraissement $3401,97504 \text{ m}^2$ a pris l'avantage sur l'érosion $-22,93416 \text{ m}^2$. Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan positive avec une valeur de $3379,04087 \text{ m}^2$.

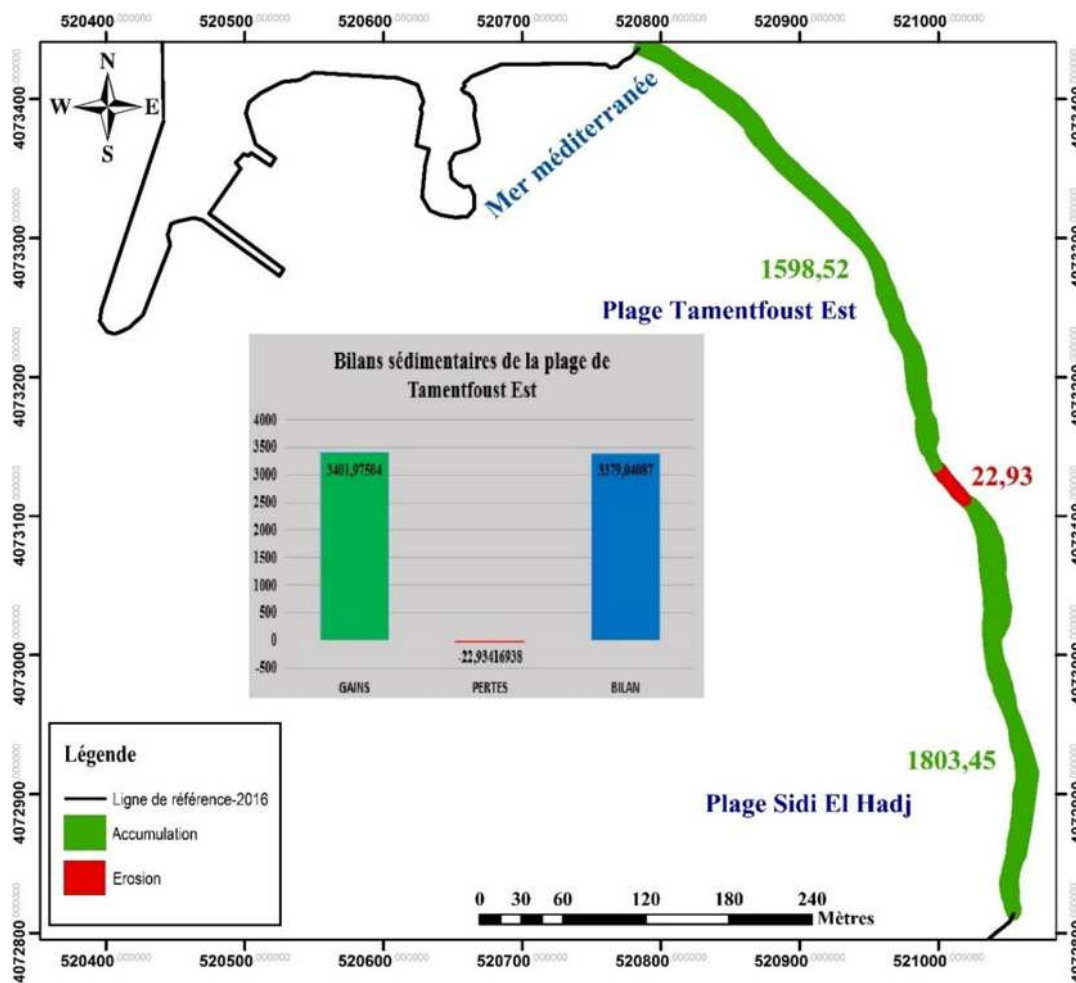
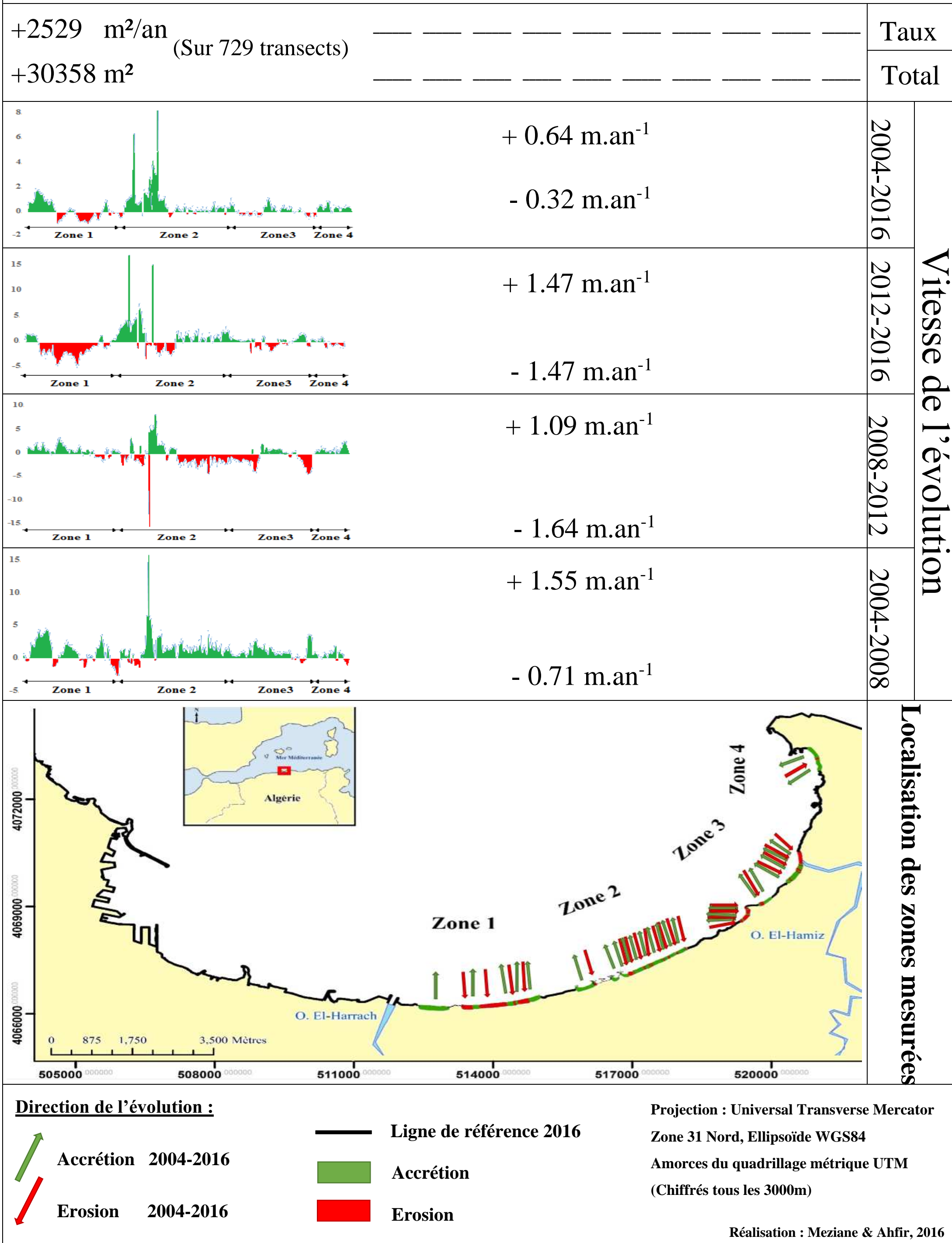


Figure IV.54 : Bilan sédimentaire de la partie Est de la baie d'Alger (zone 4) de 2004 à 2016.

Figure IV.55 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) de la baie d'Alger entre 2004 et 2016.



IV.2.4. LE GOLFE DE BEJAIA:

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte a été étudiée sur la partie Ouest du golfe de Bejaia sur 1617 transects (Figure IV.56).

Cette analyse diachronique du trait de côte, 1989 et 2016, met en évidence un découpage spatial de la plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps.

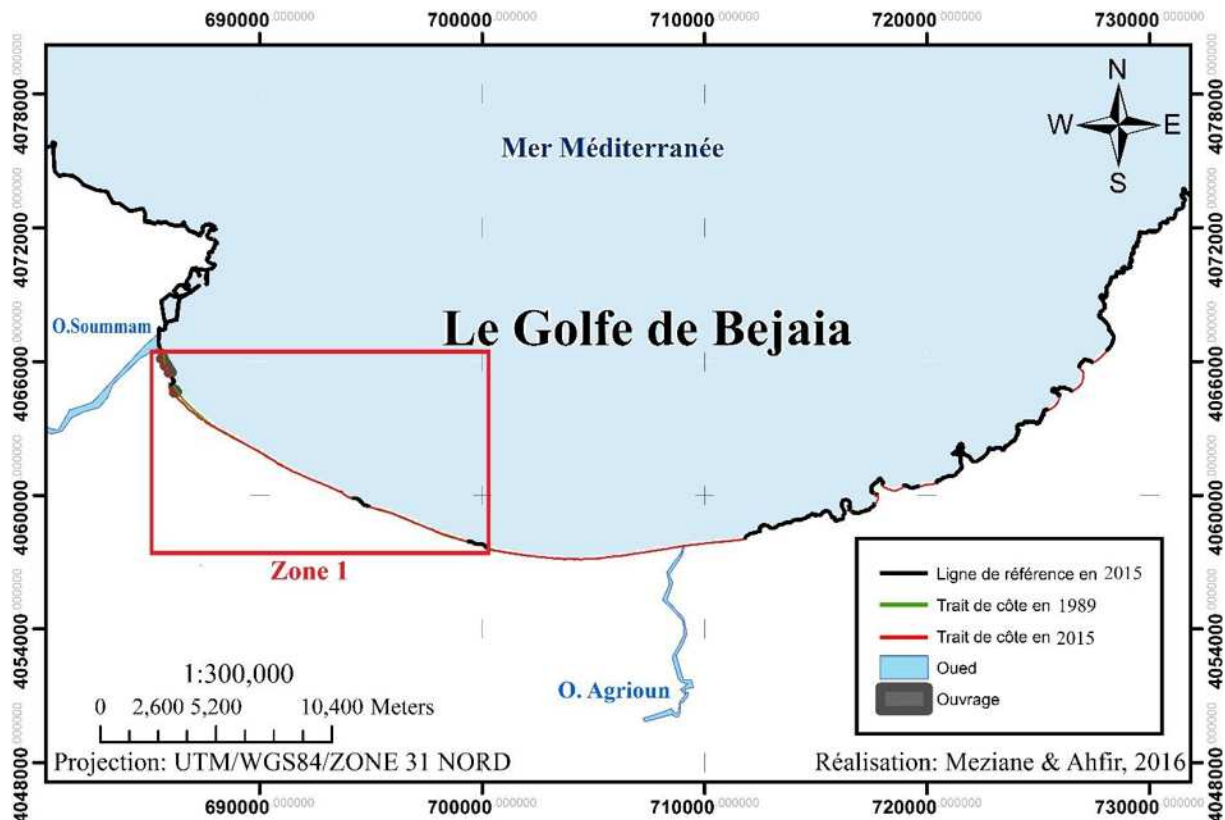


Figure IV.56 : Localisation de la zone d'étude

IV.2.4.1. La partie Ouest du golfe de Bejaia (Zone 1)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre première zone d'étude sur 1617 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.57) :

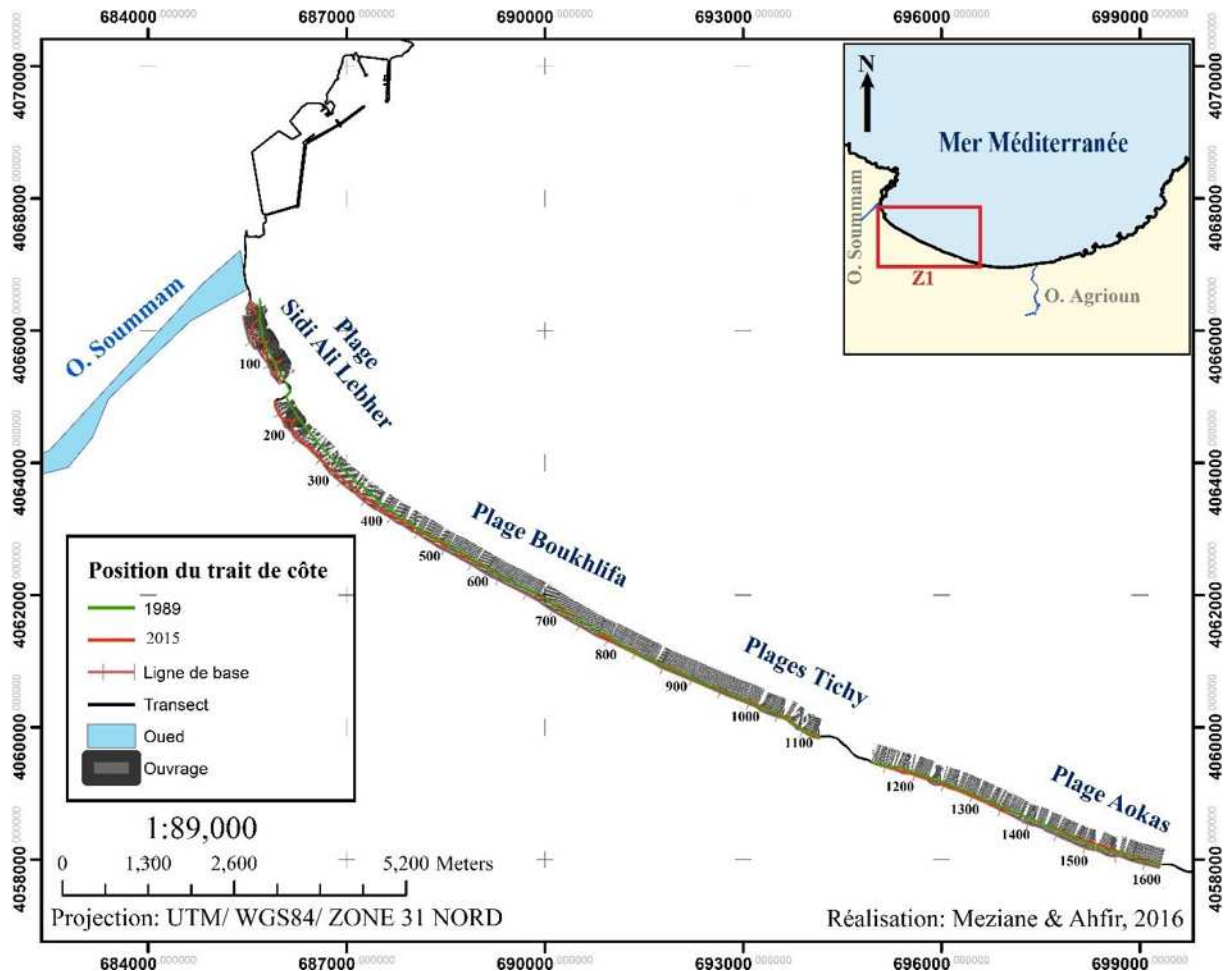


Figure IV.57 : Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest du golfe de Bejaia entre 1989 et 2015 et position des transects

- **Période 1989-2015**

L'évolution de la ligne de rivage sur une période très longue (année 1989-2015), a été très différente, des zones en érosion et d'autres en engraissement se succèdent (Figure IV.58). Le recul est enregistré au niveau de la majeure partie de la côte (transects (1 à 540), (638 à 687), (736 à 758) (1117 à 1373)) dont le taux net est de l'ordre de 53,82 m ($-2,07 \text{ m.an}^{-1}$). Cela pourrait être lié au développement socio-économique de la région (tourisme, industrie, agriculture) qui a provoqué un exode rural considérable qui s'est traduit par une anthropisation importante. Cette dernière a abouti à l'épuisement du stock sédimentaire des plages et des lits d'oueds et à fortiori oued Soummam.

Cependant, le reste de la côte a enregistré un engraissement de l'ordre de 13,78 m ($0,53 \text{ m.an}^{-1}$) qui pourrait être lié aux faibles transits latéraux durant cette période contre un transport cross-shore important dont un pic maximal de 86,84m ($3,34 \text{ m.an}^{-1}$) est enregistré au niveau du transect 119 (Sidi Ali Lebher) à proximité des épis en T qui piègent les sédiments arrachés et transportés des endroits environnants.

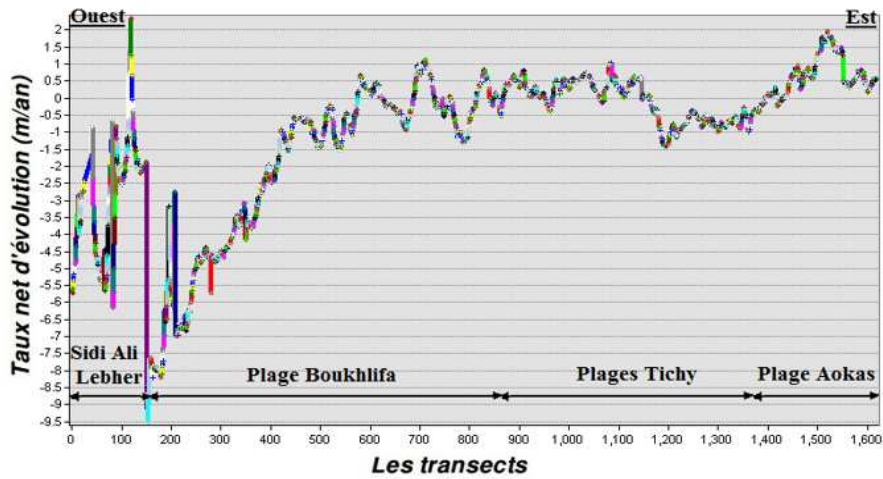


Figure IV.58: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Sidi Ali Lebher, Boukhelifa, Tichy, Aokas) entre 1989 et 2015.

B. Conclusion et étude surfacique entre 1989 et 2015

- Période 1989 - 2015

Durant les 26 ans, la partie Ouest de la baie de Bejaia a connu une érosion généralisée sur toute la ligne du rivage. Ceci pourrait être lié au faible apport en sédiments et aux développements socio-économiques de la région.

- L'évolution des surfaces des plages entre 1989 et 2015

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Sidi Ali Lebher, Boukhelifa, Tichy, Aokas) de la partie Ouest du golfe de Bejaia pour une période de 26 ans (1989 – 2015), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.59) montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'érosion -469222.386 m^2 a pris l'avantage sur l'engraissement 46185.5847 m^2 . Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de -423036.801 m^2 .

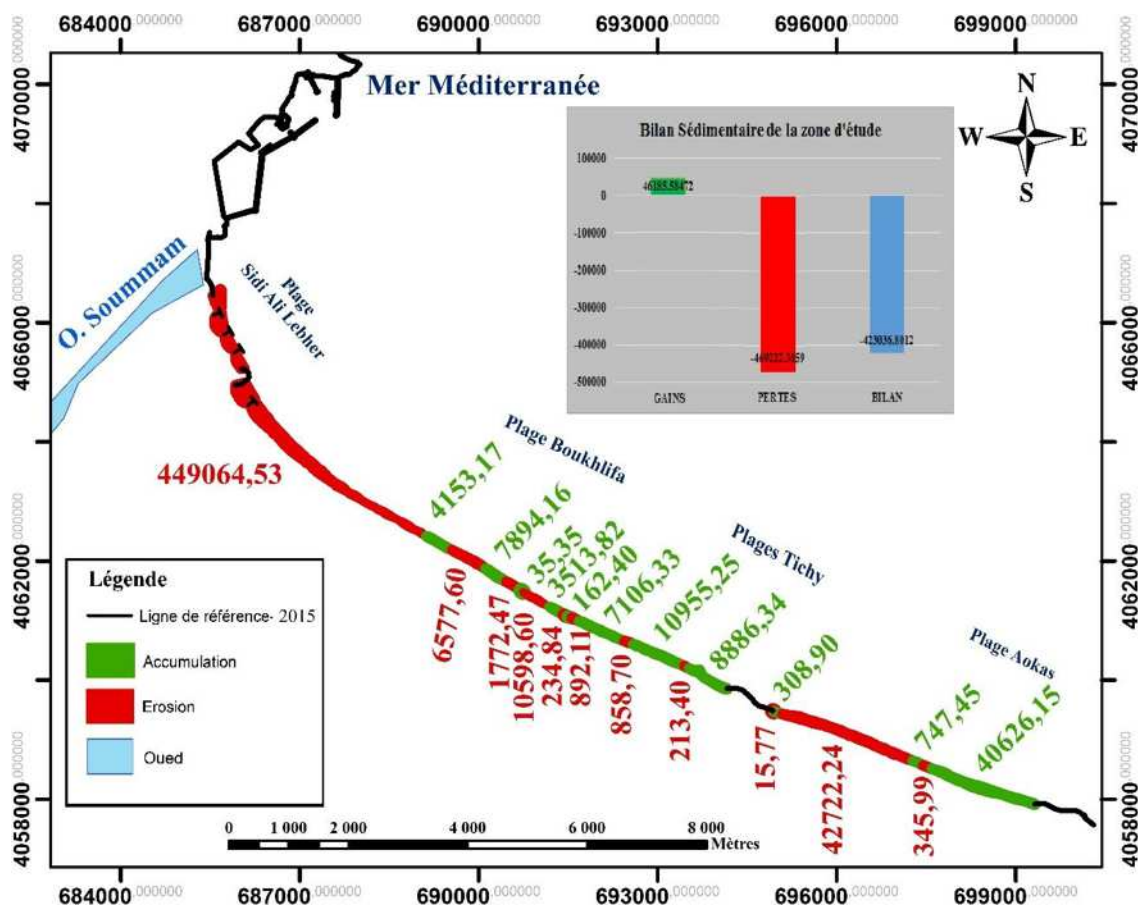


Figure IV.59: Bilan sédimentaire de la partie Ouest Du golfe de Bejaia de 1989 à 2015.

Figure IV.60 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) du golfe de Bejaia entre 1989 et 2015.

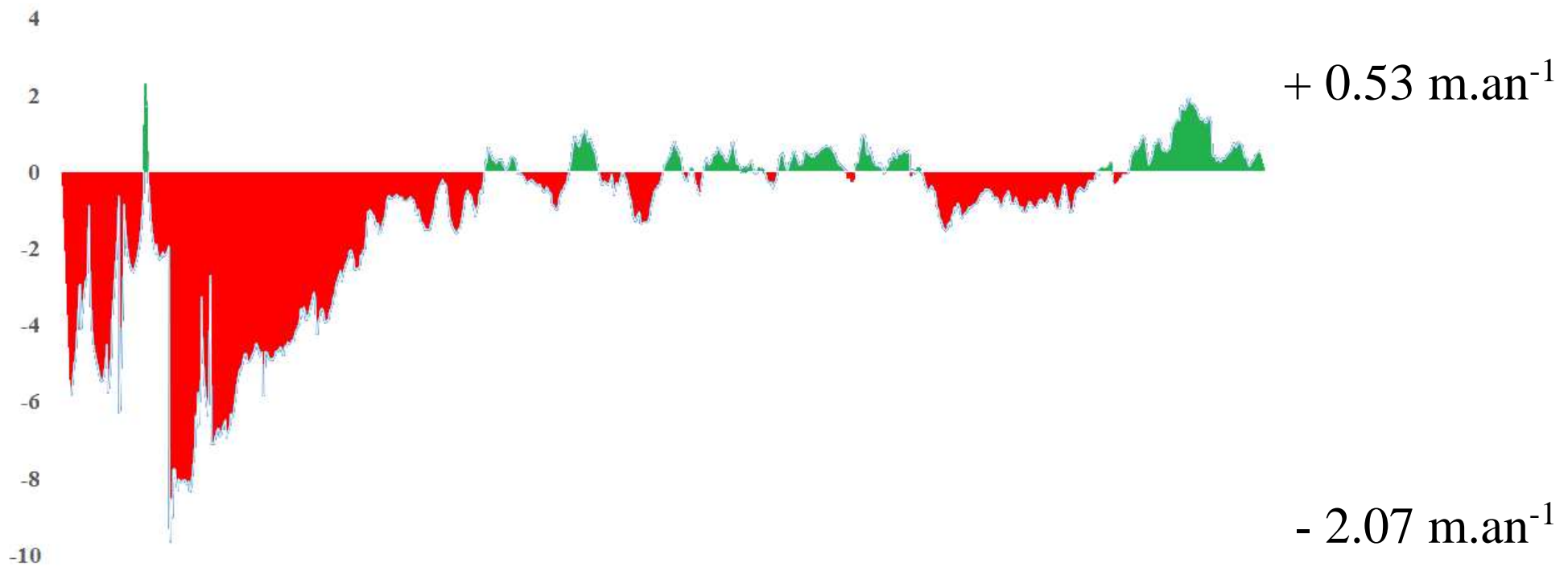
-16271 m²/an

(Sur 1617 transects)

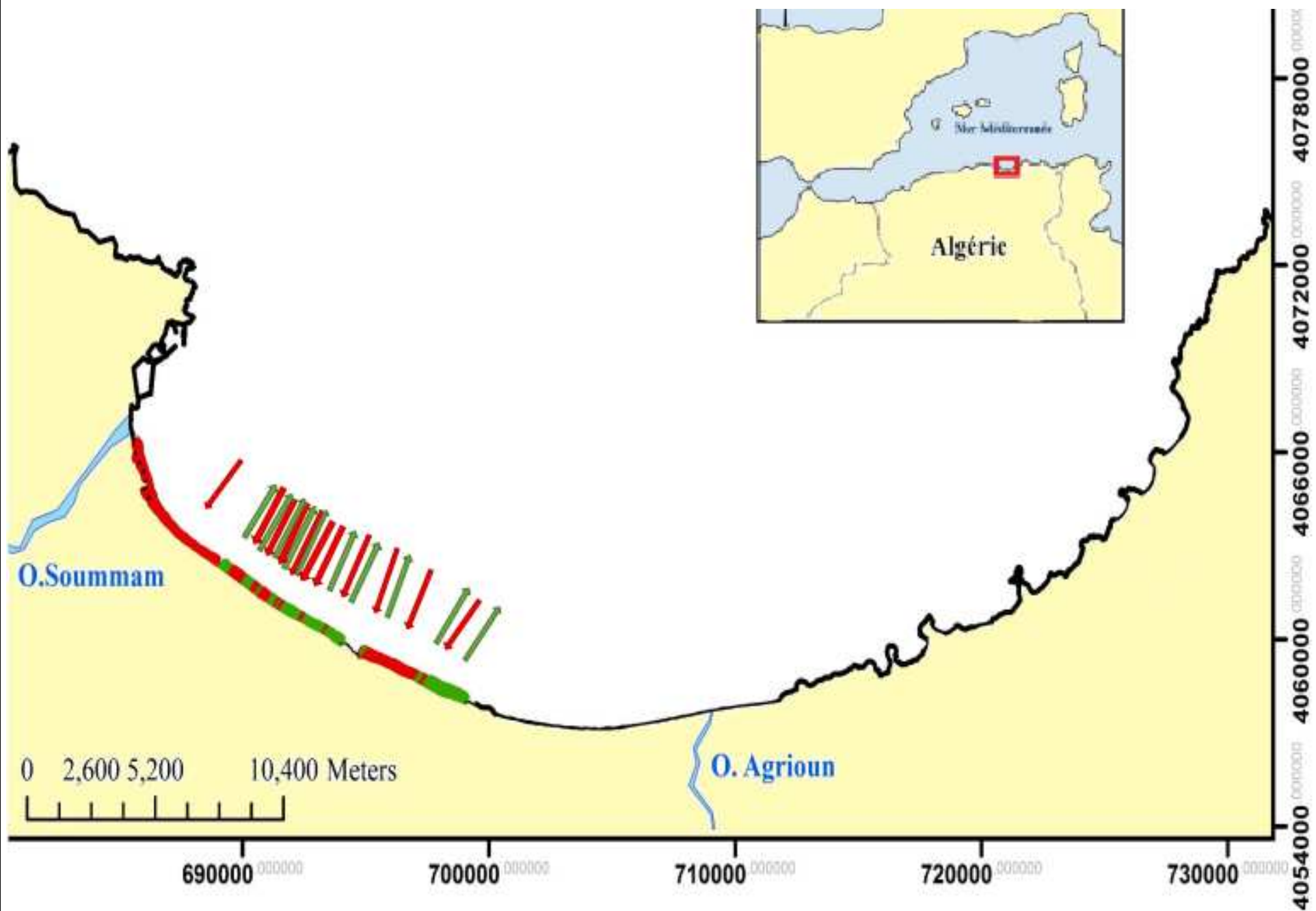
- 423036 m²

Taux

Total



Vitesse de l'évolution
1989-2015



Localisation des zones mesurées

Direction de l'évolution :

- Accrétion 2004-2016
- Erosion 2004-2016

- Ligne de référence 2016
- Accrétion
- Erosion

Projection : Universal Transverse Mercator
Zone 31 Nord, Ellipsoïde WGS84
Amorces du quadrillage métrique UTM
(Chiffrés tous les 10000m)

Réalisation : Meziane & Ahfir, 2016

IV.2.4. LE GOLFE DE SKIKDA:

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte a été étudiée sur la partie Ouest, Centre et Est du golfe de Skikda sur 2861 transects. Quatre zones d'étude ont été choisies sur ce littoral (Figure IV.61).

Cette analyse diachronique du trait de côte, 2004 à 2016, met en évidence un découpage spatial de la plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps.

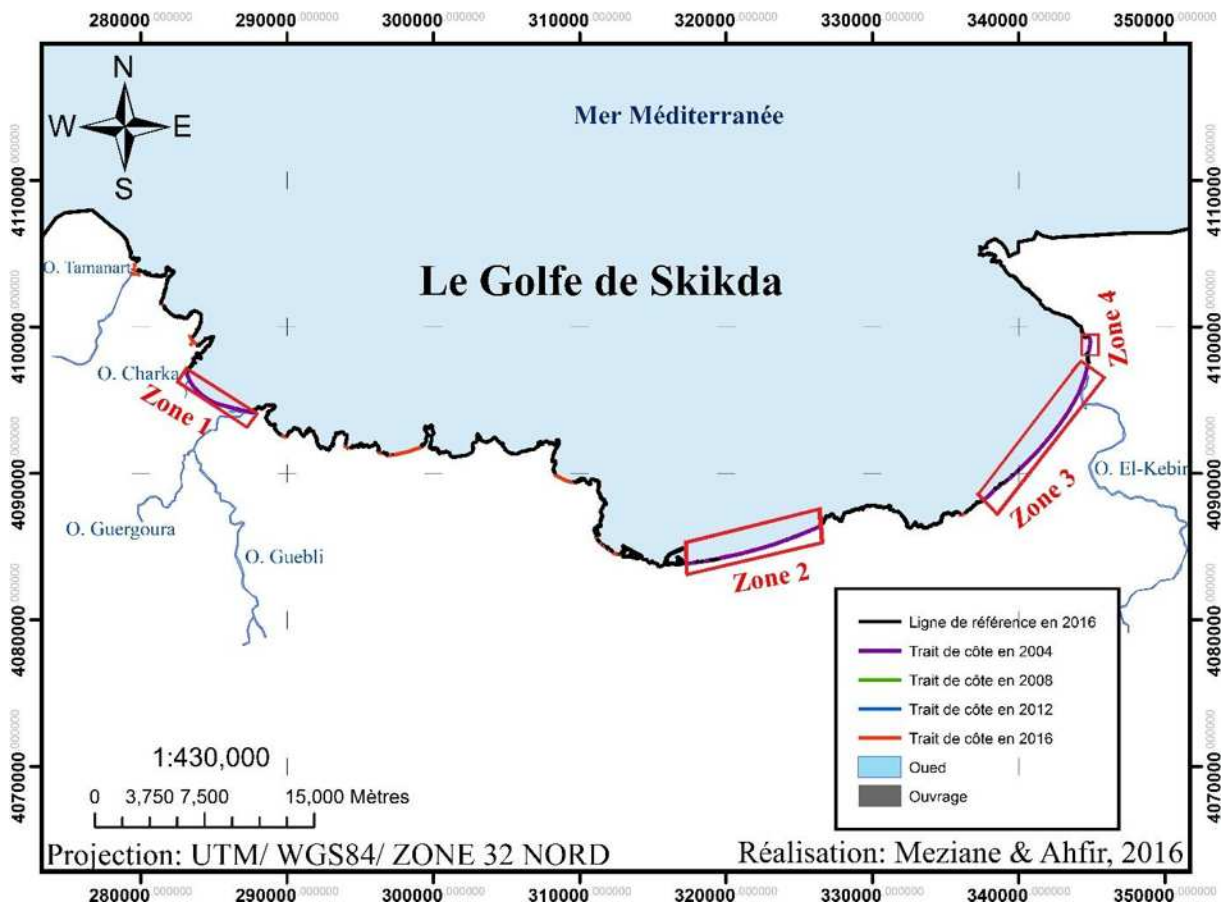


Figure IV.61 : Localisation des zones d'études.

IV.2.5.1. La partie Ouest du golfe de Skikda (Zone 1)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre première zone d'étude sur 577 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.62) :

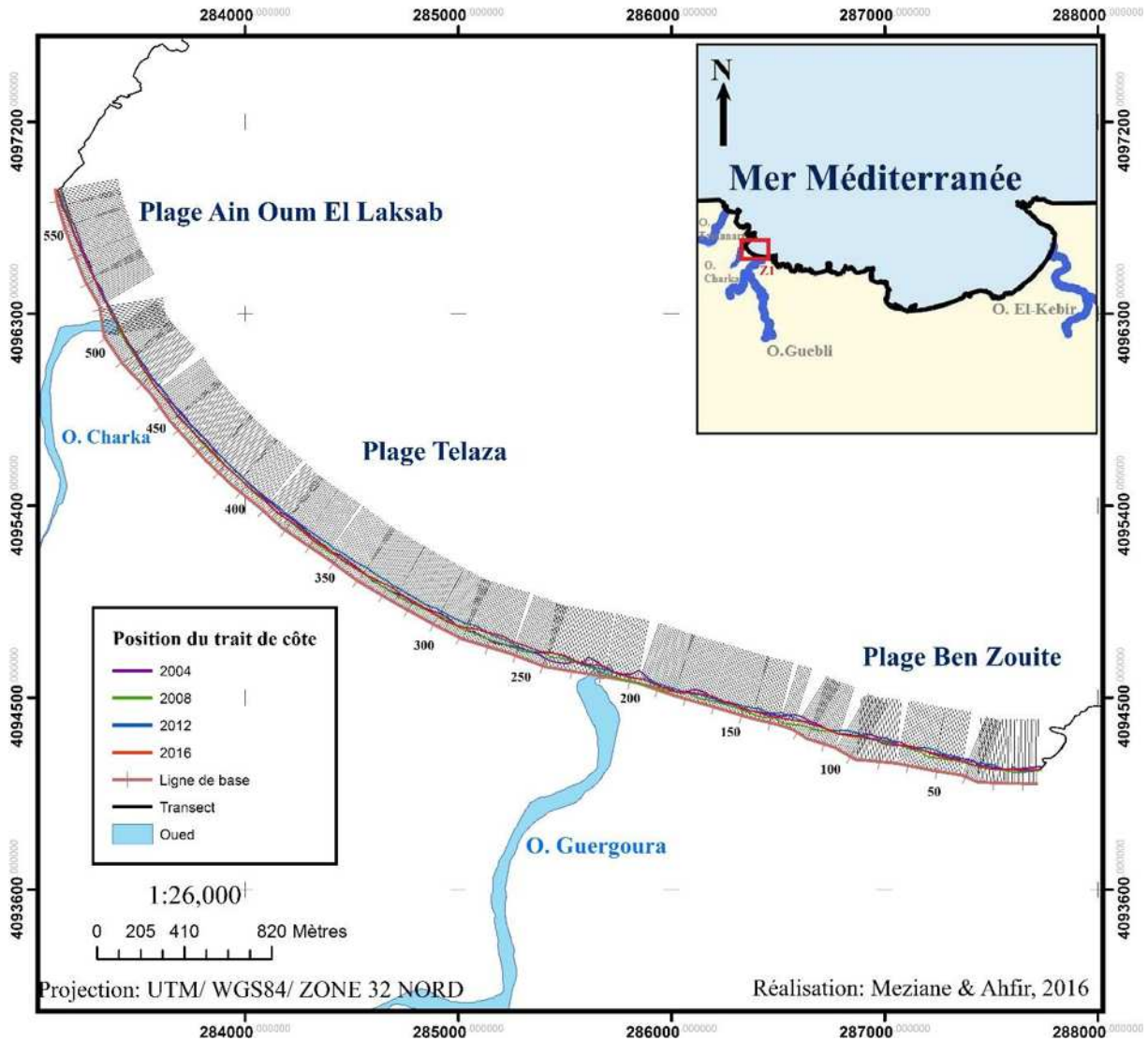


Figure IV.62 : Evolution de la ligne de côte de la partie Ouest du golfe de Skikda (zone1) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Durant cette période, L'évolution de la ligne de rivage s'est caractérisée par un recul important sur les plages étudiées (Ain Oum El Laksab, Talezza-Collo, Ben Zouite), le taux net de ce recul est de l'ordre -13.48 m ($-3,37 \text{ m.an}^{-1}$) dont le taux le plus élevé est enregistré à l'endroit du transect 122. Notant que certains transects ont connu un avancé de l'ordre de $6,48 \text{ m}$ ($1,62 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.63). L'érosion de ce rivage pourrait être justifié par la grande fréquentation touristique durant la période estivale ainsi les faible apports des oueds Charka et Guergoura.

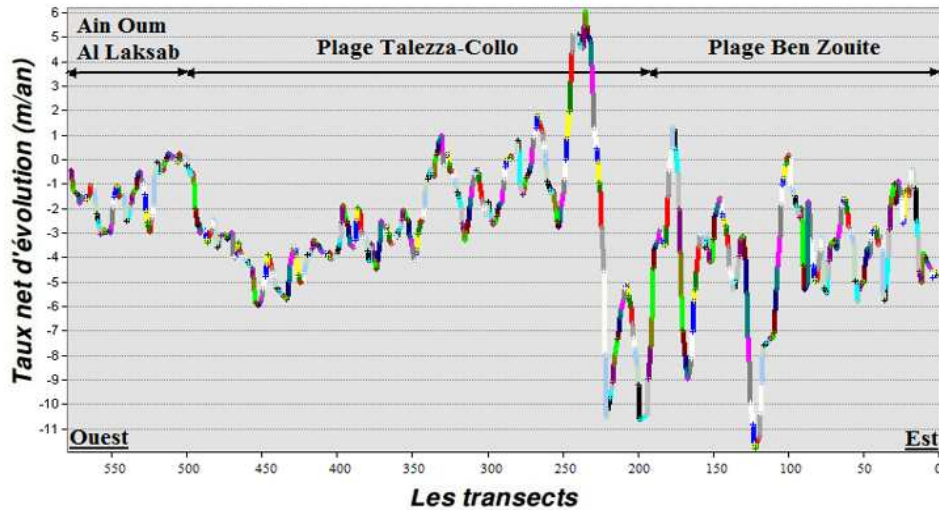


Figure IV.63: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Ben Zouite, Talezza-Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Inversement aux années précédentes, entre 2008 et 2012 les plages étudiées ont connu un engraissement généralisé du trait de côte de l'ordre de 17,20 m ($4,20 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.64). En comparant ce taux avec les années précédentes, on pourrait dire que probablement cette avancé est liée à un rechargement artificielle réalisé durant cette période et aux apports important des oueds (oued Charka et Guergoura).

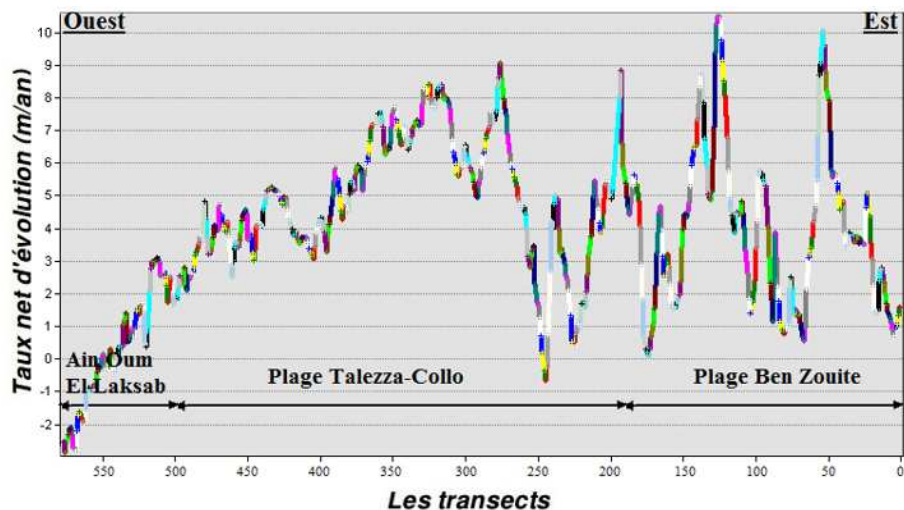


Figure IV.64: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Ben Zouite, Talezza-Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Cette période été marqué par un recul généralisé sur tous le rivage des plages étudiées (Ain Oum El Laksab, Talezza, Ben Zouite), dont le taux net moyen est de l'ordre de $-12,84 \text{ m} (-3,21 \text{ m.an}^{-1})$. Ainsi nous relevons un engraissement entre les transects (2 et 23, 51 et 76, 101 et 126, 151 et 176, 201 et 276), la valeur moyenne de cette accumulation est de l'ordre de $5,88 \text{ m} (1,47 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure III.65). Le recul enregistré pourrait être lié aux faibles apports des oueds Charka et Guergoura ainsi à la pression anthropique e arrière-pays.

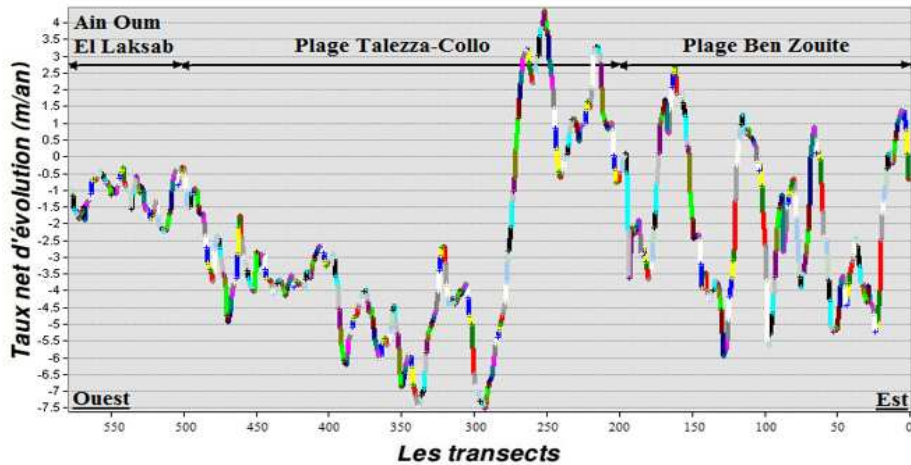


Figure IV.65: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Ben Zouite, Talezza-Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- *Période 2004-2016*

Entre 2004 et 2016, la tendance évolutive du trait de côte été marqué par l'alternance des portions de recul dont le taux net moyen est de l'ordre de $-10,92 \text{ m} (-0,91 \text{ m.an}^{-1})$, et des portions d'engraissement $12,6 \text{ m} (1,05 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure IV.66).

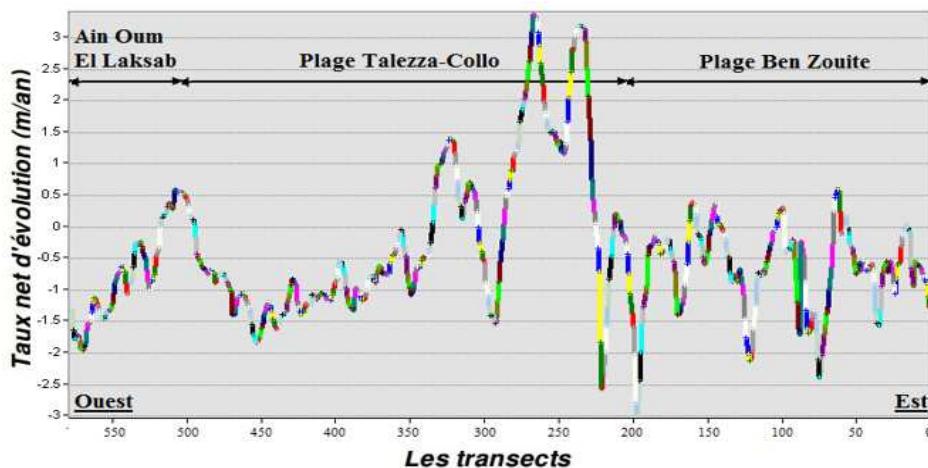


Figure IV.66: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Ben Zouite, Talezza-Collo, Ain Oum El Laksab) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Ben Zouite, Talezza-Collo, Ain Oum El Laksab) de la partie Ouest du golfe de Skikda pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.67) montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude, l'érosion $-41878,8757 \text{ m}^2$ a pris l'avantage sur l'engraissement $18357,5637 \text{ m}^2$. Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de $-23521,3112 \text{ m}^2$.

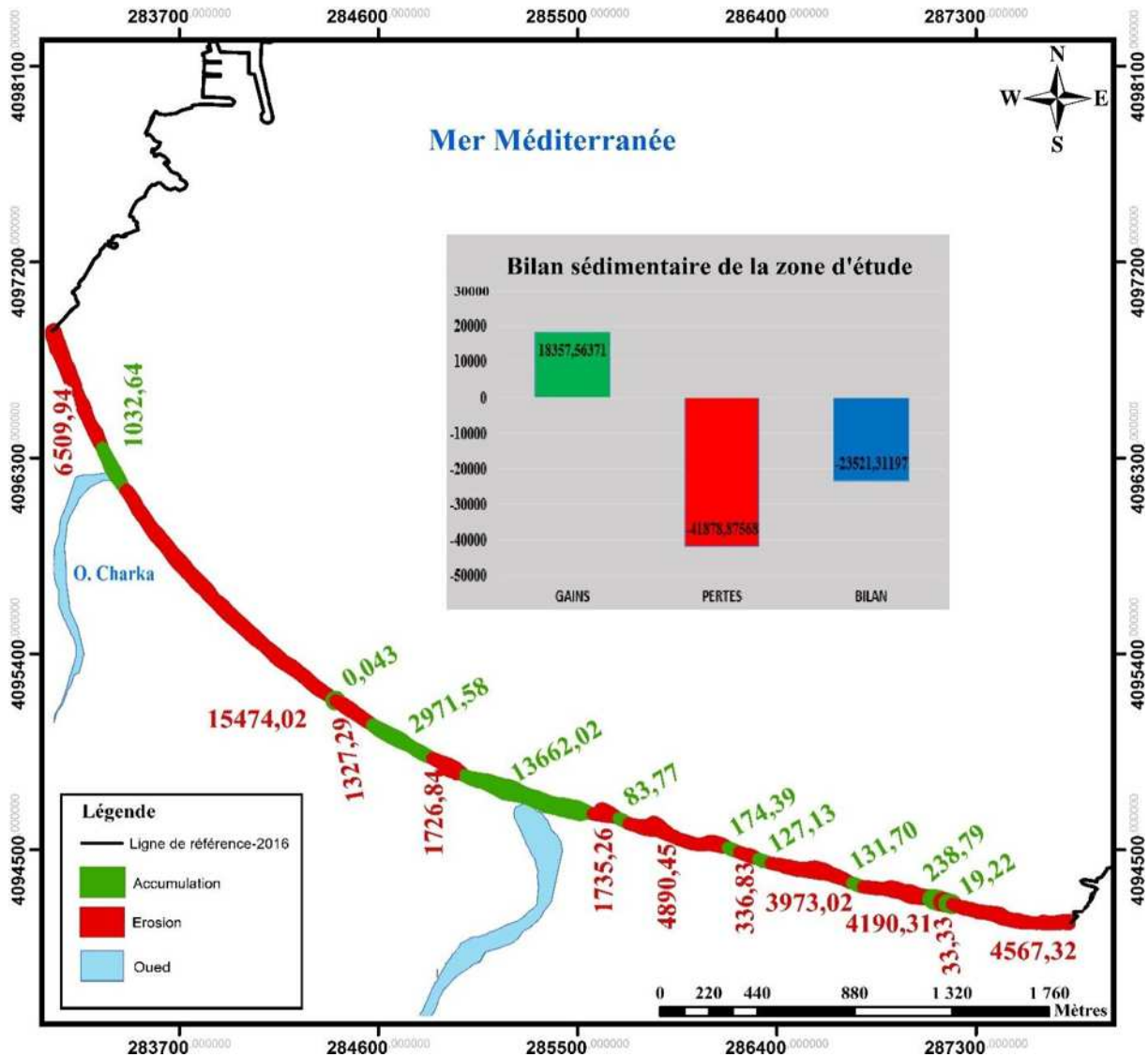


Figure IV.67 : Bilan sédimentaire de la partie Ouest du golfe de Skikda (zone 1) de 2004 à 2016.

IV.2.5.2. La partie Centre du golfe de Skikda (Zone 2)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre deuxième zone d'étude sur 1008 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.68) :

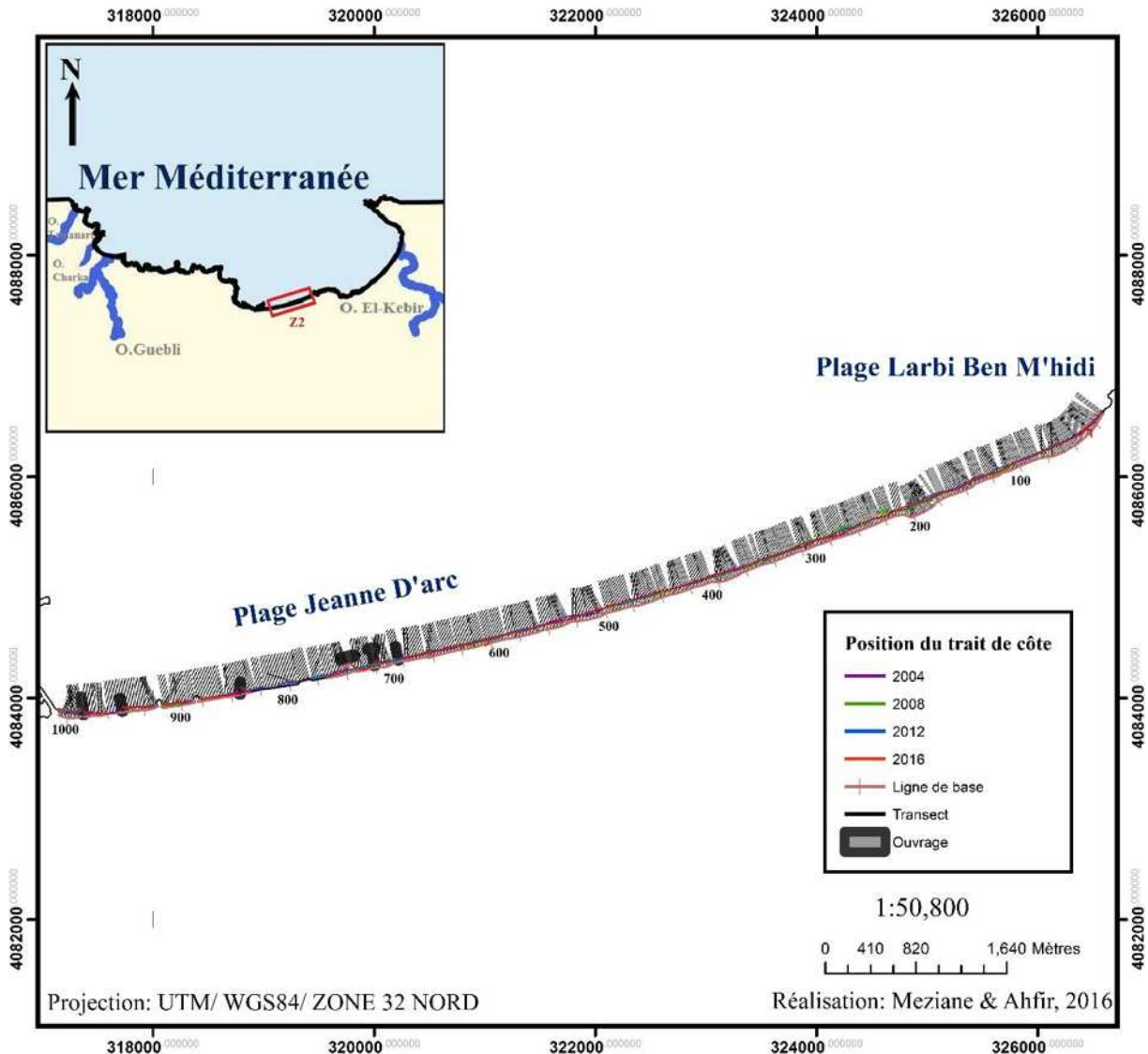


Figure IV.68 : Evolution de la ligne de côte de la partie Centre du golfe de Skikda (zone 2) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Cette période été marqué par un recul généralisé sur le rivage des plages (Jeanne D'arc et Larbi Ben M'hidi), cette érosion est de l'ordre de $-8,52 \text{ m}$ ($-2,13 \text{ m.an}^{-1}$). Les plus forts reculs ont été enregistré au niveau des transects 505 à 541 avec des taux qui varient entre $-3,33 \text{ m.an}^{-1}$ et $-7,32 \text{ m.an}^{-1}$ (Figure IV.69). Ce recul pourrait être expliqué par le déséquilibre engendré par les deux bateaux coulés au niveau de la plage Jeanne D'arc et au développement socio-économique de la région (SONATRACH, les complexes touristiques...). Cependant, nous relevons quelques endroits d'engrassement qui se localisent à proximité des trois épis droit, ainsi la quantité des sédiments piégé derrière les deux bateaux coulés au

niveau de la plage Jeanne D'arc qui a donné naissance à la formation des tombolos au niveau des transects 217 à 227 et 253 à 316, la valeur moyenne de l'engraissement du rivage étudié est de l'ordre de 7,76 m ($1,94 \text{ m.an}^{-1}$)

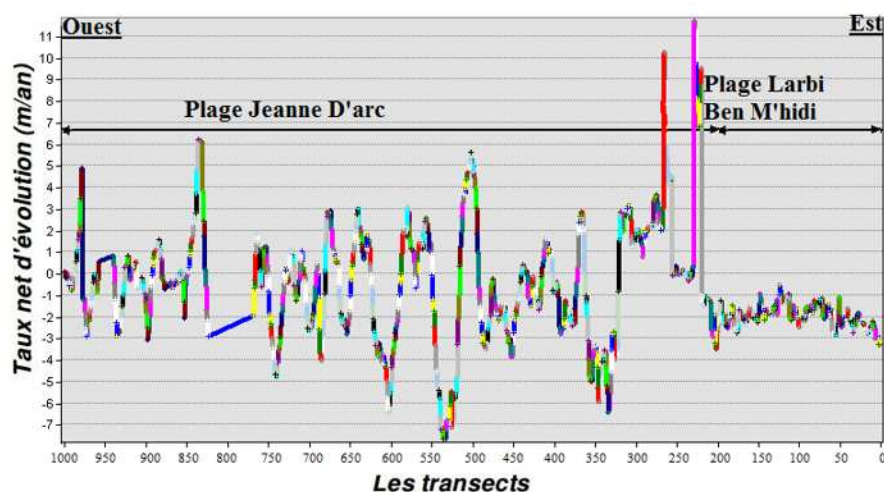


Figure IV.69: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

L'évolution du trait de côte tout au long de cette période a connu un engraissement dont le taux net moyens est de l'ordre de $12,24 \text{ m}$ ($3,06 \text{ m.an}^{-1}$). Nous relevons un pic de recul de $62,12 \text{ m}$ ($-15,53 \text{ m.an}^{-1}$) à l'endroit du transect 232 (Figure IV. 70).

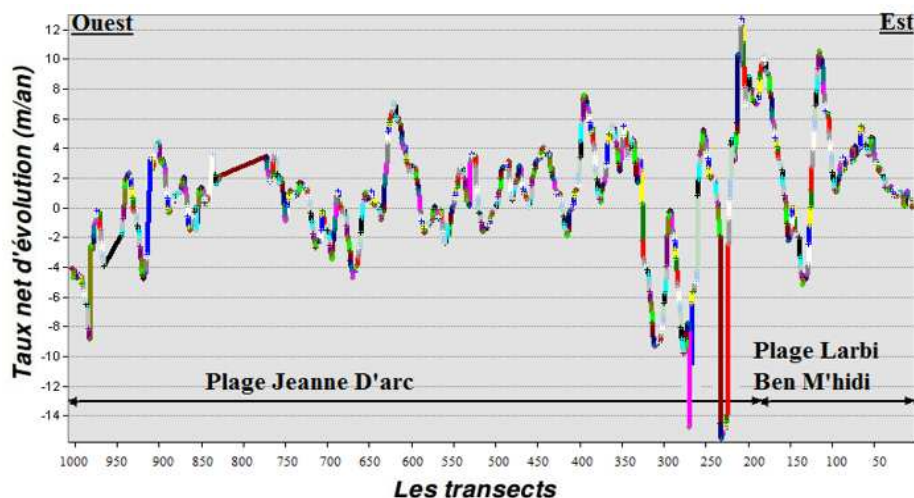


Figure IV.70: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2008 et 2012.

L'engraissement durant cette période pourrait être expliqué par l'implantation de deux autres épis droits au niveau de la zone industrielle (SONATRACH) qui piègent les sédiments en transit, ainsi au remorquage des deux bateaux Jeanne D'arc.

- **Période 2012-2016**

Durant Cette période, la tendance évolutive a connu une alternance des zones d'engrassissement et d'érosion sur tout le rivage des plages étudiées (Jeanne D'arc et Larbi Ben M'hidi), le taux moyens d'érosion est de l'ordre de $-8,48 \text{ m} (-2,12 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure IV.71). Ce recul pourrait être expliqué par la grande fréquentation touristique surtout durant la période estivale et a l'implantation des trois épis au niveau de la plage Jeanne D'arc en 2014 qui n'ont pas abouti à grand-chose car l'érosion a continué a marqué et a aggravé les zones étudiées. Cependant, nous relevons un pic d'engrassissement de l'ordre de $64,24 \text{ m} (16,06 \text{ m.an}^{-1})$ au niveau du transect 736 qui se localise à proximité de brise lame qui a été implanté à la place du 6^{ème} épi au niveau du complexe touristique Titanic, ce dernier piège les sédiments arraché et donne naissance à la formation d'un tombolo à leur niveau

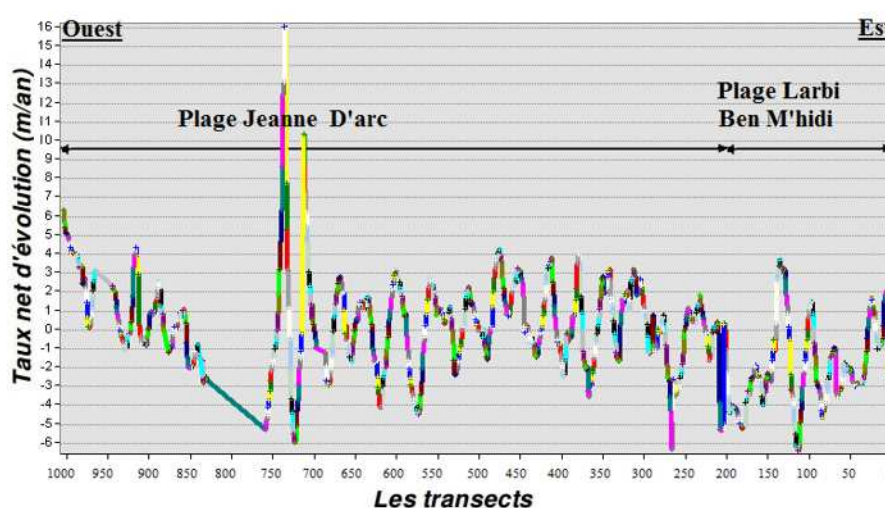


Figure IV.71: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- **Période 2004-2016**

L'analyse de la tendance évolutive de trait de côte entre 2004 et 2016 a montré que la zone (Jeanne D'arc et Larbi Ben M'hidi) étudiée est en érosion, dont le taux de recul est de l'ordre de $-10,44 \text{ m} (-0,87 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure IV.72). Cela pourrait être justifié par le développement socio-économiques de la zone (Sonatrach, tourisme,...) qui a provoqué un exode rural considérable qui s'est traduit par une pression anthropique (l'urbanisation, le piétinement, l'arasement des dunes...) et cela empêche les échange et aboutit à l'épuisement du stock sédimentaires.

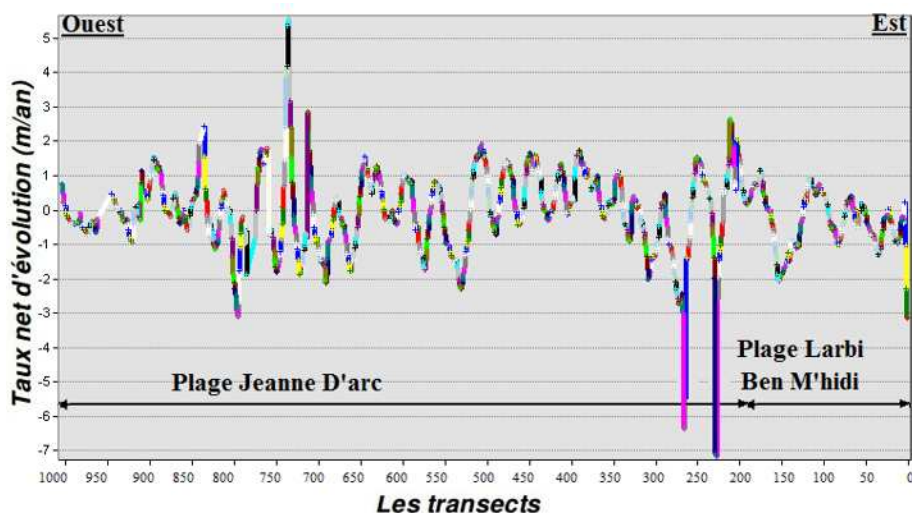
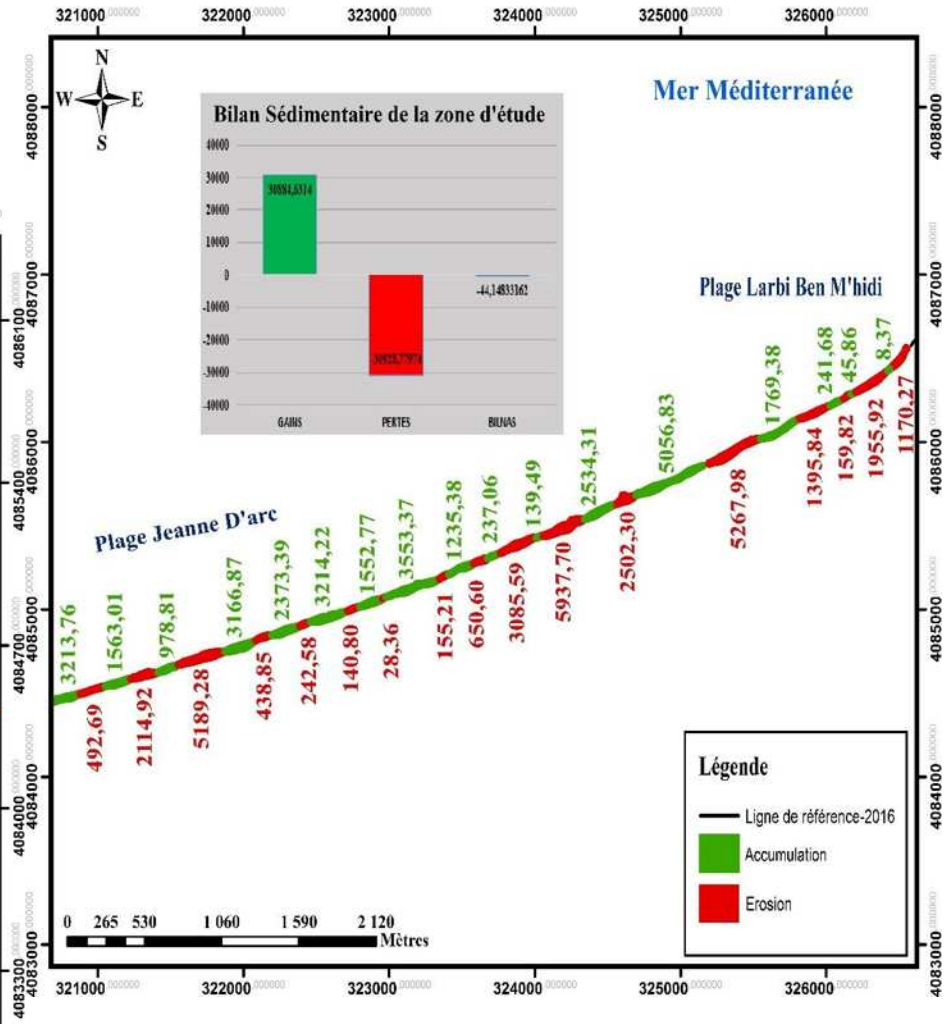
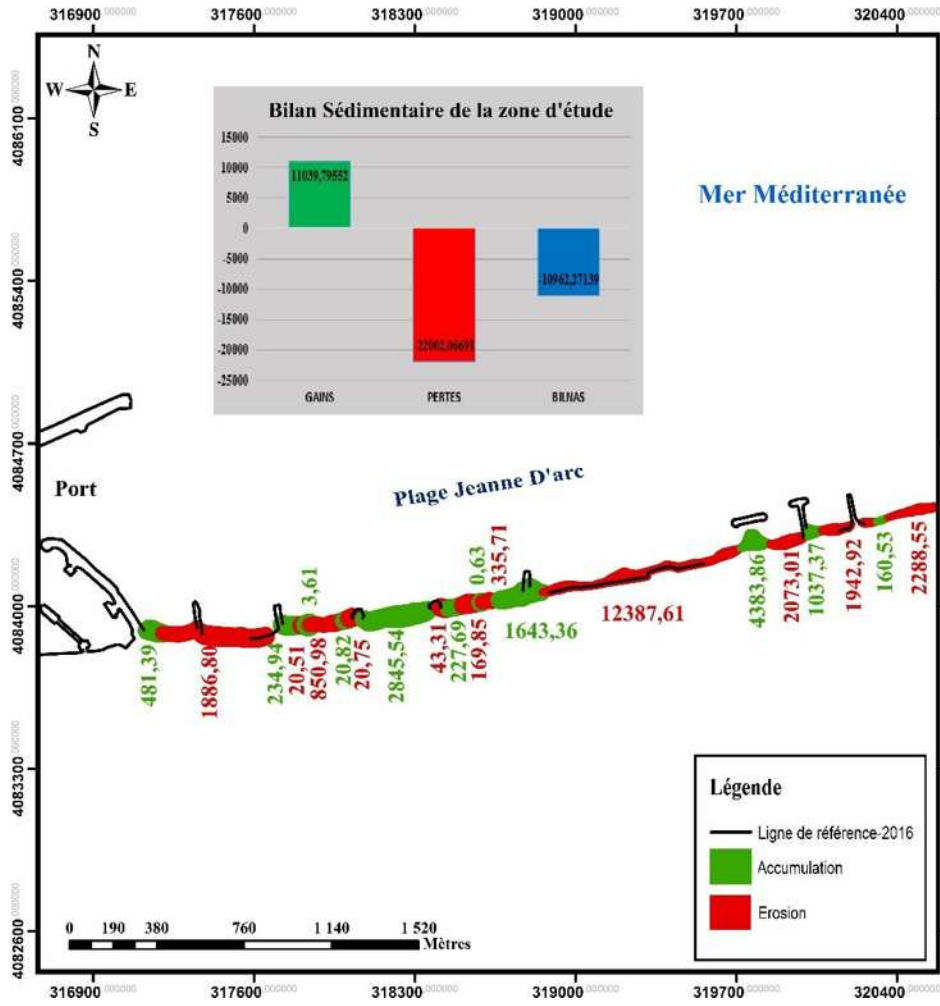


Figure IV.72: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Larbi Ben M'hidi et Jeanne D'arc) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Jeanne D'arc et Larbi Ben M'hidi) de la partie centre du golfe de Skikda pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.73) montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'érosion $-52930,8466 \text{ m}^2$ a pris l'avantage sur l'engraissement $41924,4269 \text{ m}^2$. Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de $-11006,4197 \text{ m}^2$.



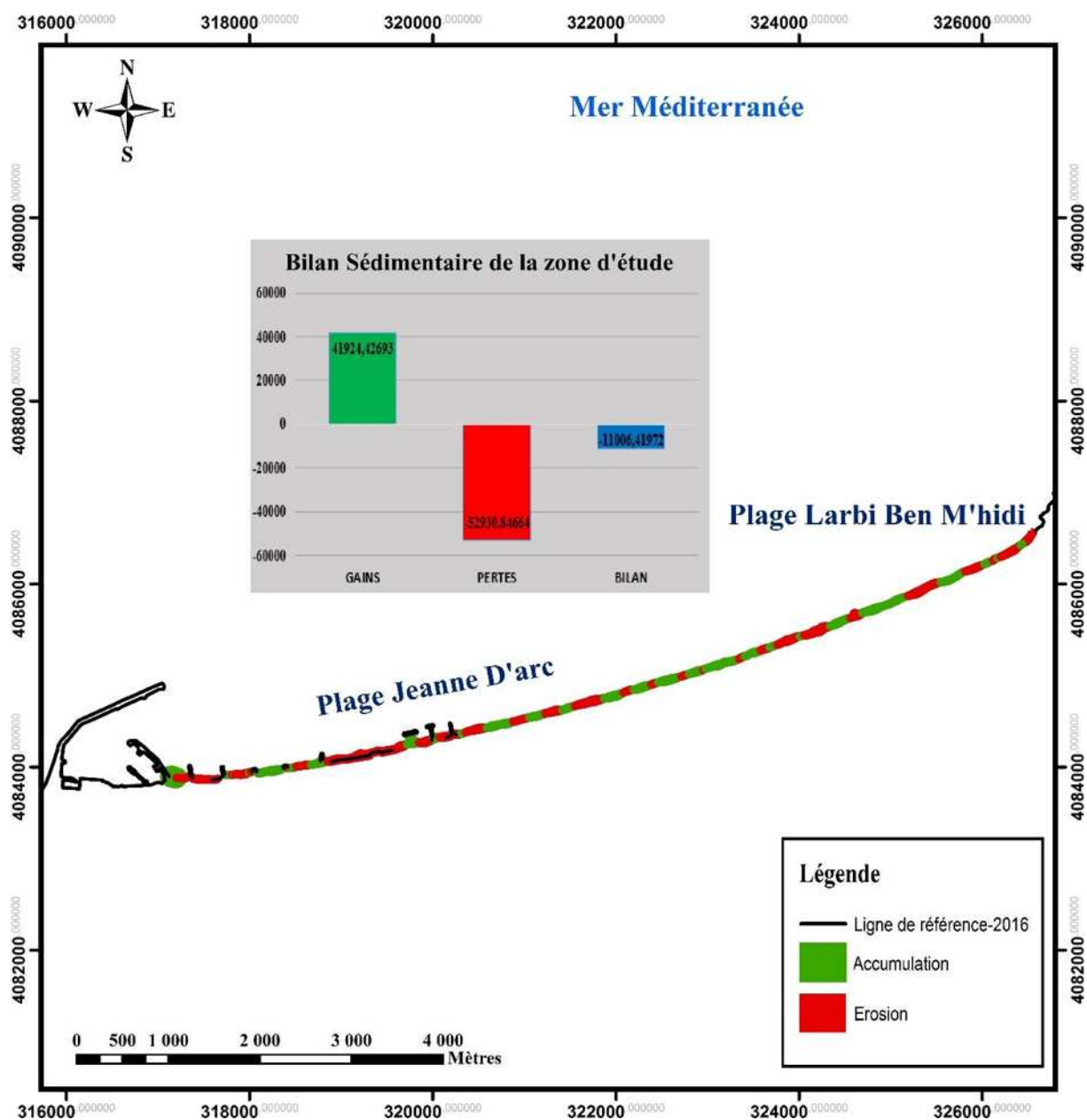


Figure IV.73 : Bilan sédimentaire de la partie Centre du golfe de Skikda (zone 2) de 2004 à 2016.

IV.2.5.3. La partie Est du golfe de Skikda (Zone 3)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre troisième zone d'étude sur 1150 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.74) :

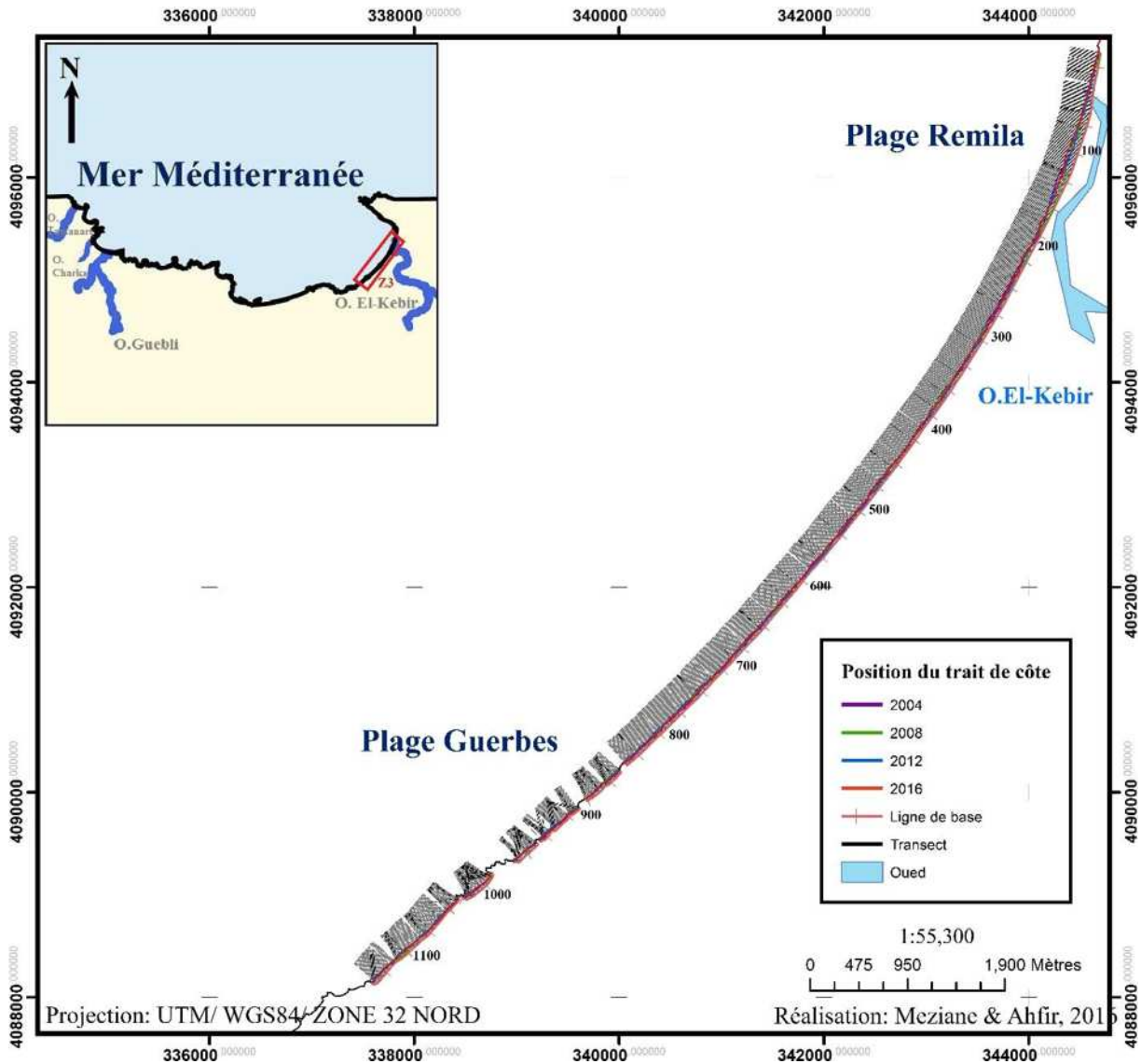


Figure IV.74 : Evolution de la ligne de côte de la partie Est du golfe de Skikda (zone 3) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Cette période a connu un recul généralisé du trait de côte des plages étudiées (Gurebes et Remila) de l'ordre de $-10,54 \text{ m}$ ($-2,63 \text{ m.an}^{-1}$), le plus fort recul a été enregistré à l'endroit du transect 254 ($-5,82 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.75). Cette érosion pourrait être justifiée par la grande fréquentation touristique durant la période estivale ainsi les faibles apports en sédiments d'oued El Kebir durant cette période.

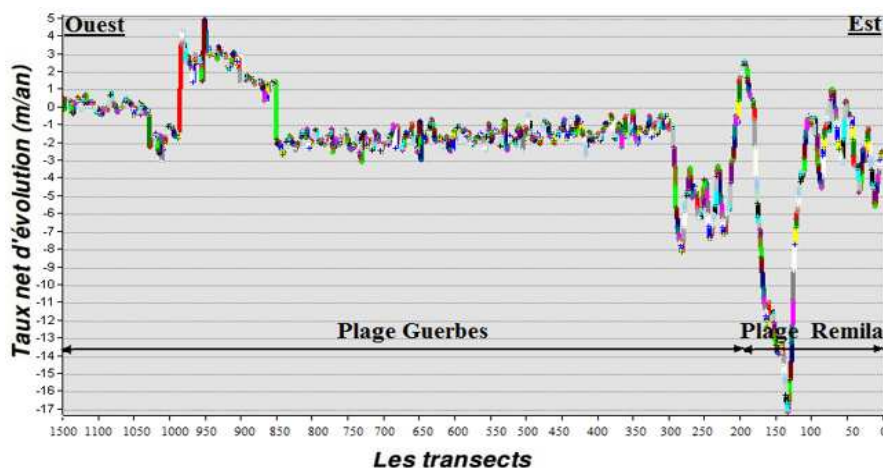


Figure IV.75: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Inversement aux années précédentes, entre 2008 et 2012 la tendance évolutive des plages étudiées (Guerbes et Remila) a connu un engraissement généralisé du trait de côte dont le taux net moyen est de l'ordre de 11 m ($2,75 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.76). Cette avancé du rivage pourrait être expliqué par les apports important en sédiments d'oued El Kebir.

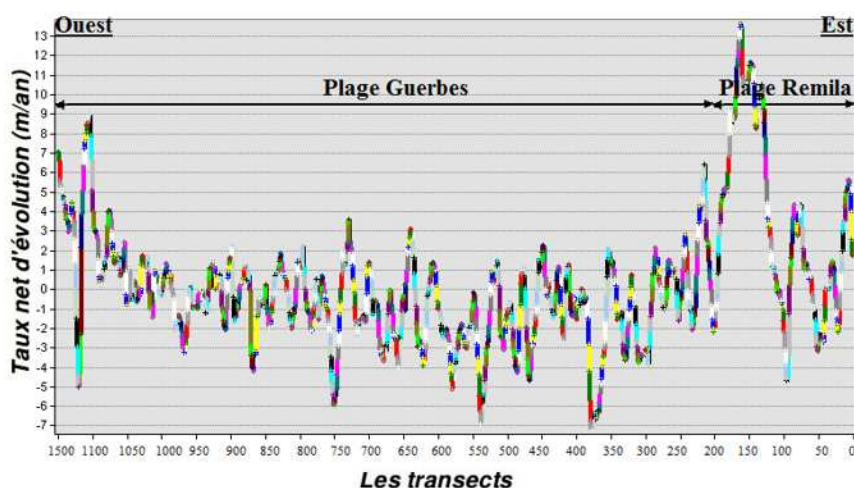


Figure IV.76: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Durant cette période, la tendance évolutive des plages étudiées (Guerbes et Remila) a connu un engraissement généralisé du trait de côte de l'ordre de 10,88 m ($2,72 \text{ m.an}^{-1}$) avec un pic d'engraissement de l'ordre de 30,35 m ($9,83 \text{ m.an}^{-1}$) été enregistré au niveau du transect 109. Cependant certains transects ont enregistré un recul dont les taux net moyens varient entre $-0,01 \text{ m.an}^{-1}$ et $-8,17 \text{ m.an}^{-1}$ (Figure

IV.77). Cette évolution pourrait être expliquée par la variation des apports en sédiments d'oued El Kebir durant chaque trimestre.

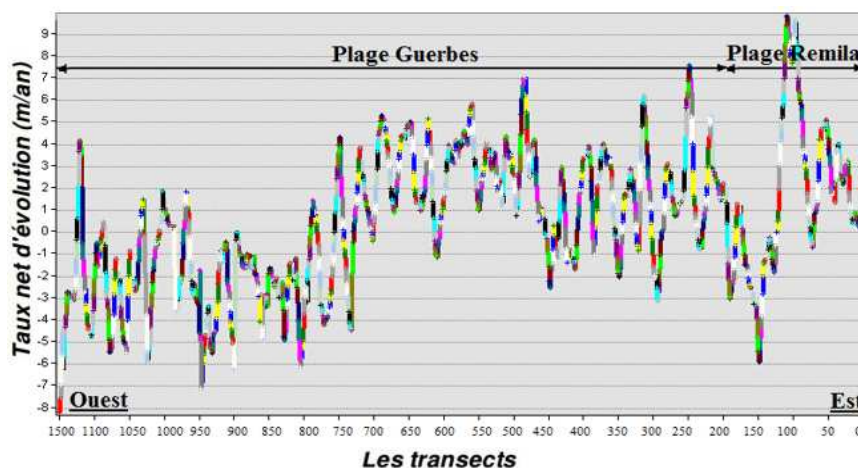


Figure IV.77: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

Durant les 12 ans, la tendance évolutive du trait de côte des plages étudiées s'est caractérisée par une alternance des transects en érosion dont le taux net moyens est de l'ordre de $-10,89 \text{ m} (-0,89 \text{ m.an}^{-1})$ et des transects en engraissement de l'ordre de $7,98 \text{ m} (0,64 \text{ m.an}^{-1})$ (Figure IV.78). L'analyse de cette tendance évolutive a montré que la zone étudiée (plage Guerbes et plage Remila) est en érosion, cela pourrait être expliquée par la variation des apports en sédiments d'oued El Kebir qui est probablement lié à l'extraction abusive des sédiments ainsi à la grande fréquentation touristique durant la période estivale.

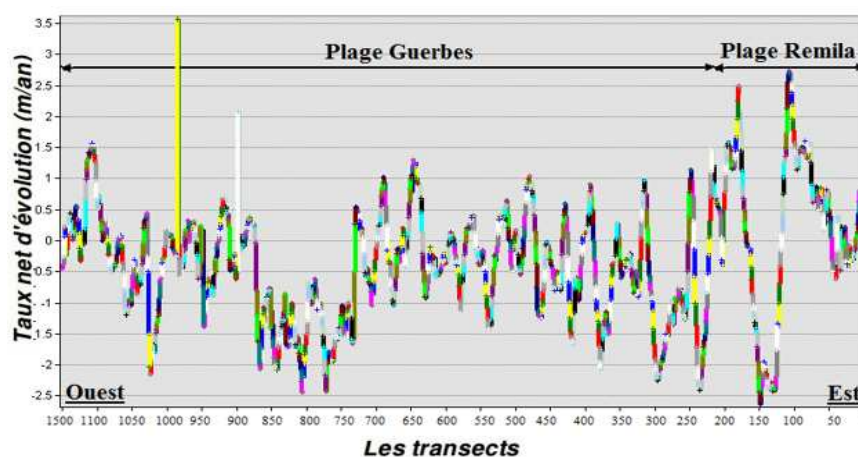


Figure IV.78: Evolution du trait de côte au niveau des plages (Remila, Guerbes) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique des plages sableuses (Guerbes et Remila) de la partie Est du golfe de Skikda pour une période de 12ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.79) montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'érosion -74602,621 m² a pris l'avantage sur l'engraissement 31354,0633 m². Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de -43248,5577 m².

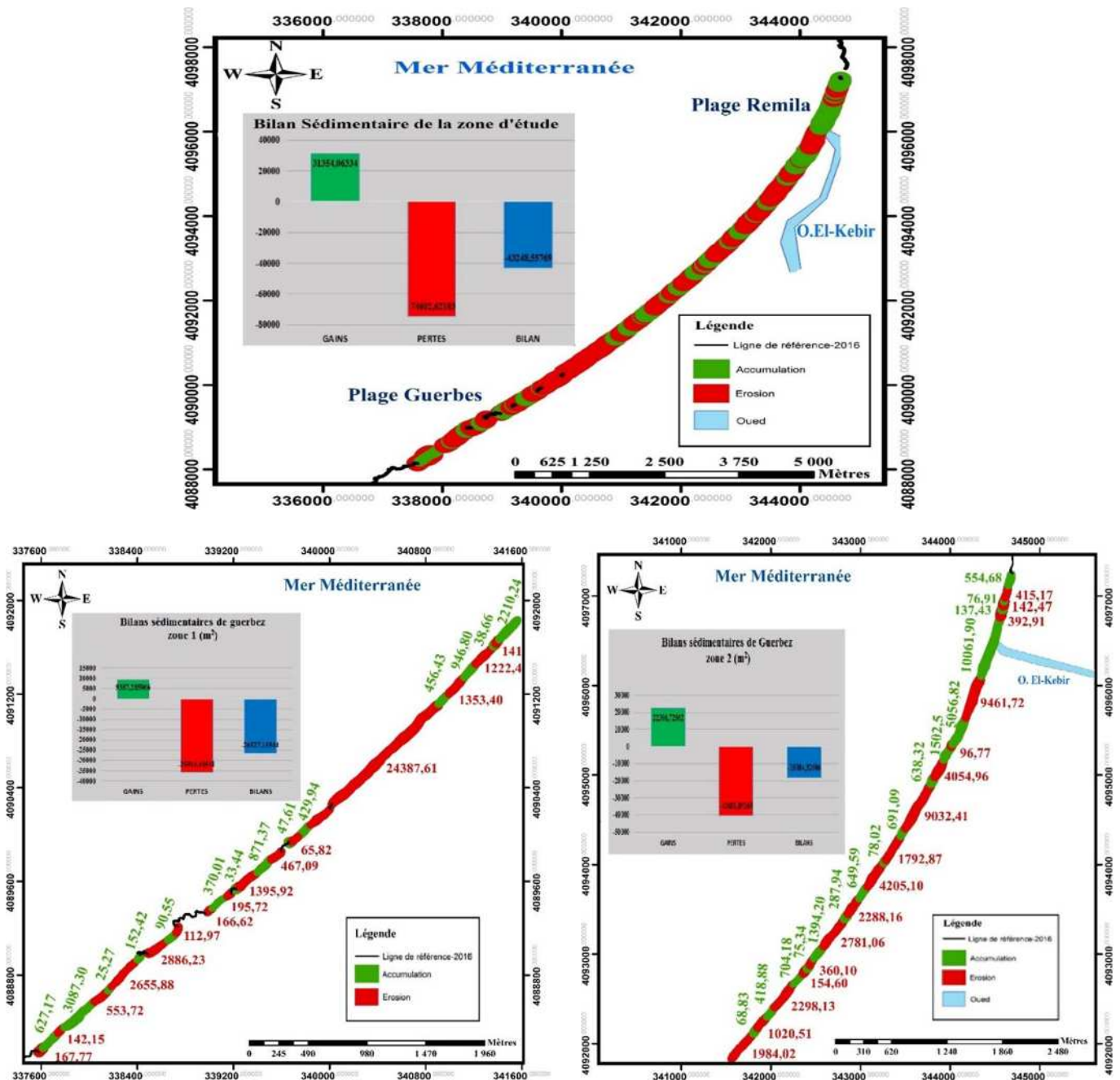


Figure IV.79 : Bilan sédimentaire de la partie Est du golfe de Skikda (zone 3) de 2004 à 2016.

IV.2.5.4. La partie Est du golfe de Skikda (Zone 4)

A. Les variations de la ligne de côte

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre quatrième zone d'étude sur 128 transects, nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes (Figure IV.80) :

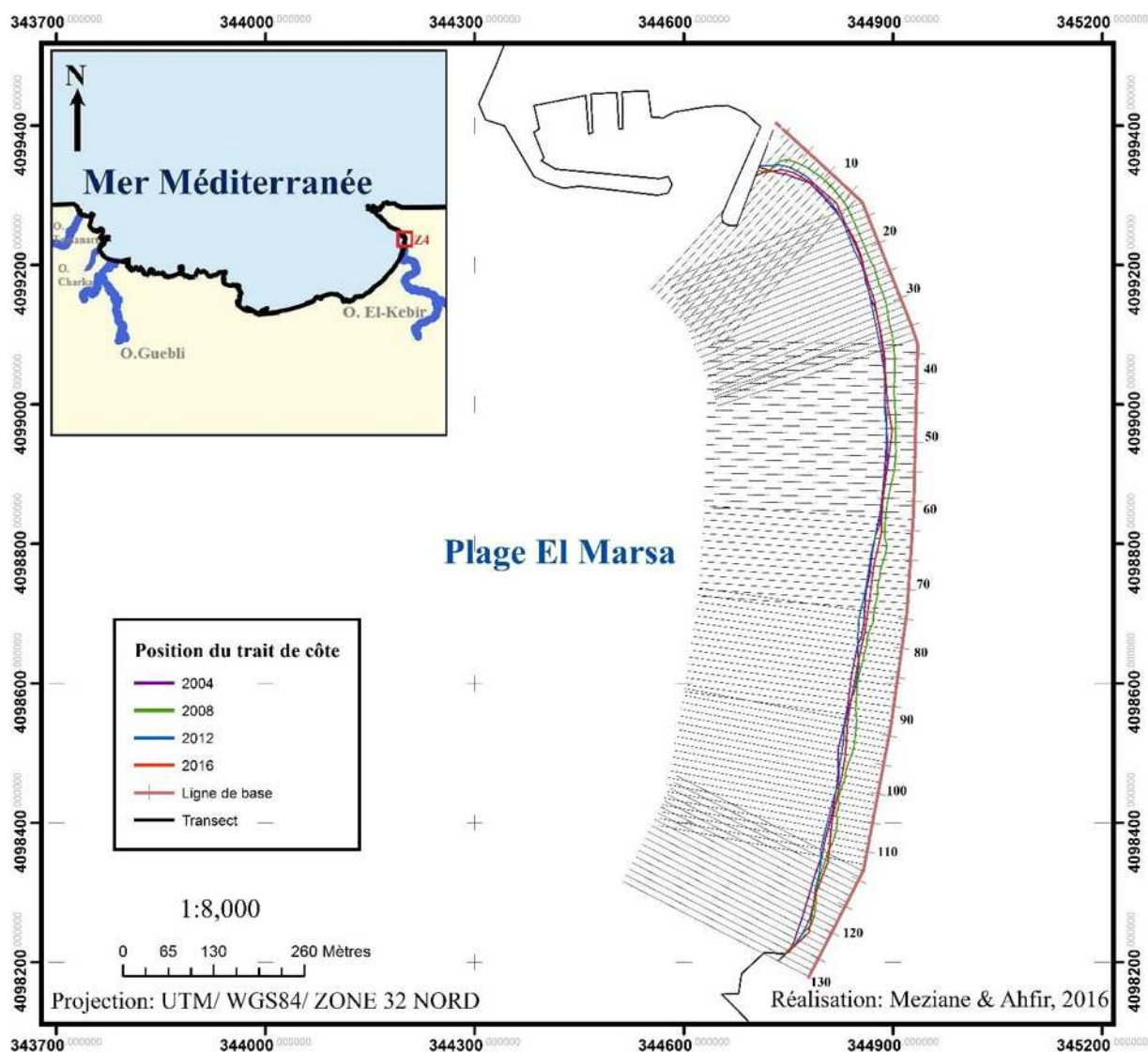


Figure IV.80 : Evolution de la ligne de côte de la partie Est du golfe de Skikda (zone 4) entre 2004 et 2016 et position des transects.

- **Période 2004-2008**

Durant cette période, on a enregistré un recul important sur l'ensemble des transects de l'ordre de -13,28 m ($-3,32 \text{ m.an}^{-1}$), à l'exception du transect 1 où on a enregistré une accumulation de l'ordre de 3,2 m ($0,8 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.81), ce dernier se localise à proximité de la jeté secondaire du port qui

piège les sédiments arraché à son niveau, par contre l'érosion pourrait être justifié par la grande fréquentation touristique surtout durant la période estivale.

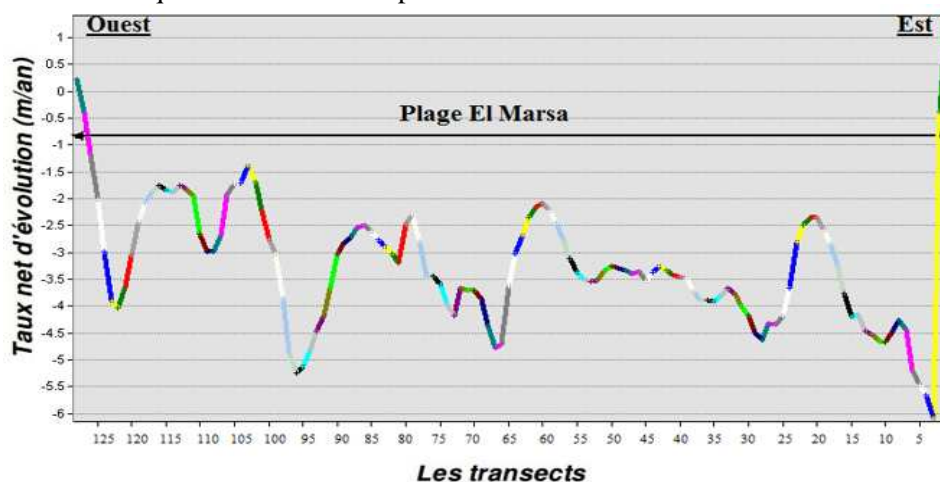


Figure IV.81: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2004 et 2008.

- **Période 2008-2012**

Inversement, entre 2008 – 2012, on a enregistré un engraissement de l'ordre de 12,68 m ($3,17 \text{ m.an}^{-1}$), sauf entre les transects 1 à 2 et entre 126 à 128, nous relevons une érosion de l'ordre de -4,4 m ($-1,10 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.82). En comparant ce taux avec les années précédentes, on pourrait dire que probablement cette avancé du rivage est liée à un rechargement artificielle.

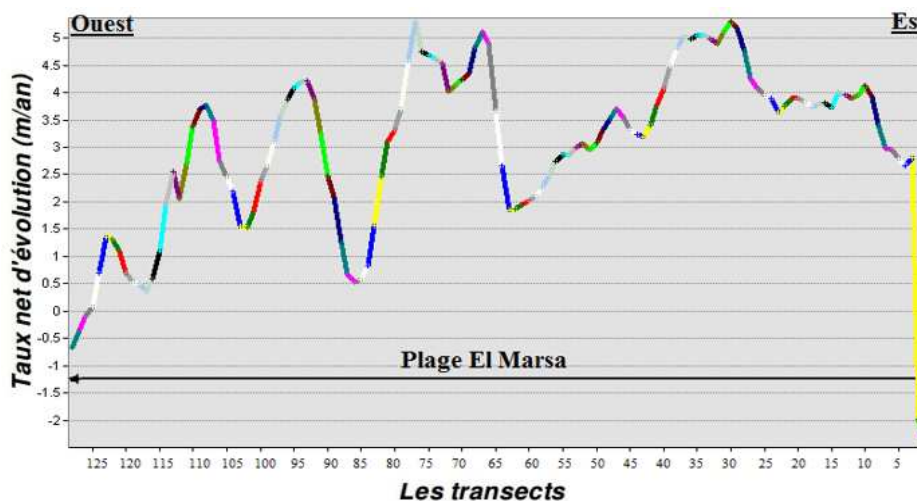


Figure IV.82: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2008 et 2012.

- **Période 2012-2016**

Durant cette période, l'évolution de la ligne du rivage est disparate, la tendance à l'érosion se continue le long de la cote dont le taux moyen est de l'ordre de -4,56 m ($-1,14 \text{ m.an}^{-1}$). Cependant, entre

les transects (1 à 8, 86 à 88 et 127 à 128), on a enregistré un engraissement qui atteint une valeur de 5,16 m ($1,29 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.83). Cela pourrait être justifié par impact des activités humaines sur le littoral.

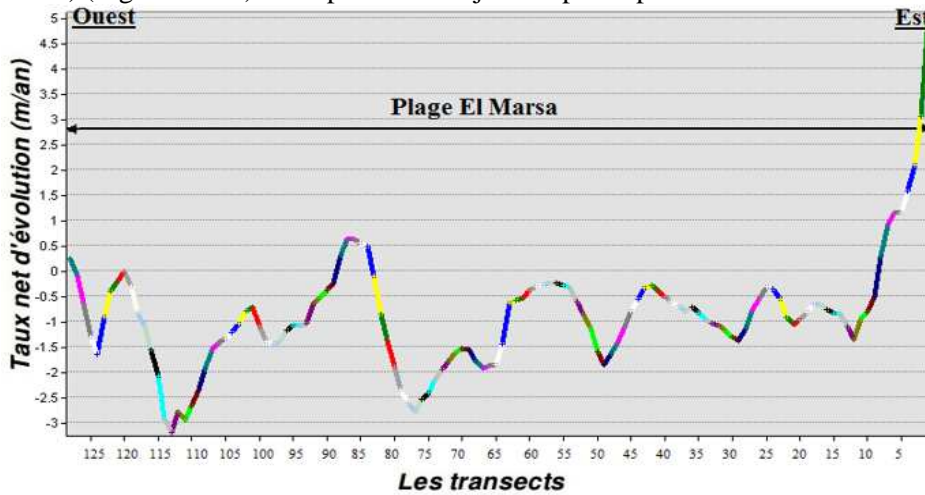


Figure IV.83: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2012 et 2016.

B. Conclusion et étude surfacique entre 2004 et 2016

- Période 2004-2016

Durant les 12 ans, l'évolution de la ligne du rivage a connu deux étapes : un recul de trait de côte entre les transects (3 à 27, 23 à 31 et 41 à 128) de l'ordre de -5,40 m ($-0,45 \text{ m.an}^{-1}$) et une avancé entre les transects (1 à 3, 17 à 23 et 31 à 41) de l'ordre de 2,16 m ($0,18 \text{ m.an}^{-1}$) (Figure IV.84). Cela pourrait être lié au développement socio-économique qui aboutit à l'épuisement du stock sédimentaire de la plage.

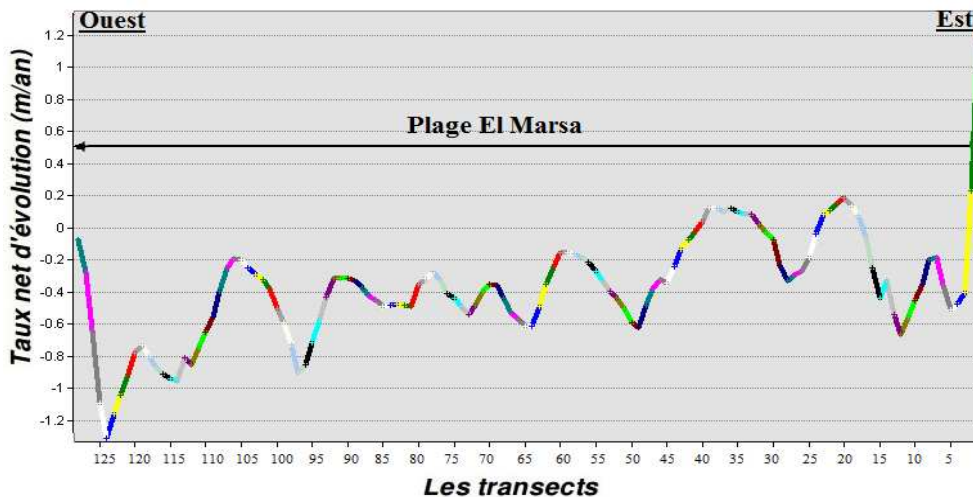


Figure IV.84: Evolution du trait de côte au niveau des plages (El Marsa) entre 2004 et 2016.

- *L'évolution des surfaces des plages entre 2004 et 2016*

La cartographie de l'évolution surfacique de la plage sableuse (El Marsa) de la partie Est du golfe de Skikda pour une période de 12 ans (2004 – 2016), a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion .

L'analyse de l'histogramme (Figure IV.85) montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'érosion $-5744,46149 \text{ m}^2$ a pris l'avantage sur l'engraissement $187,646811 \text{ m}^2$. Si on parle en termes de bilan, la zone présente un bilan négatif avec une valeur de $-5556,81468 \text{ m}^2$.

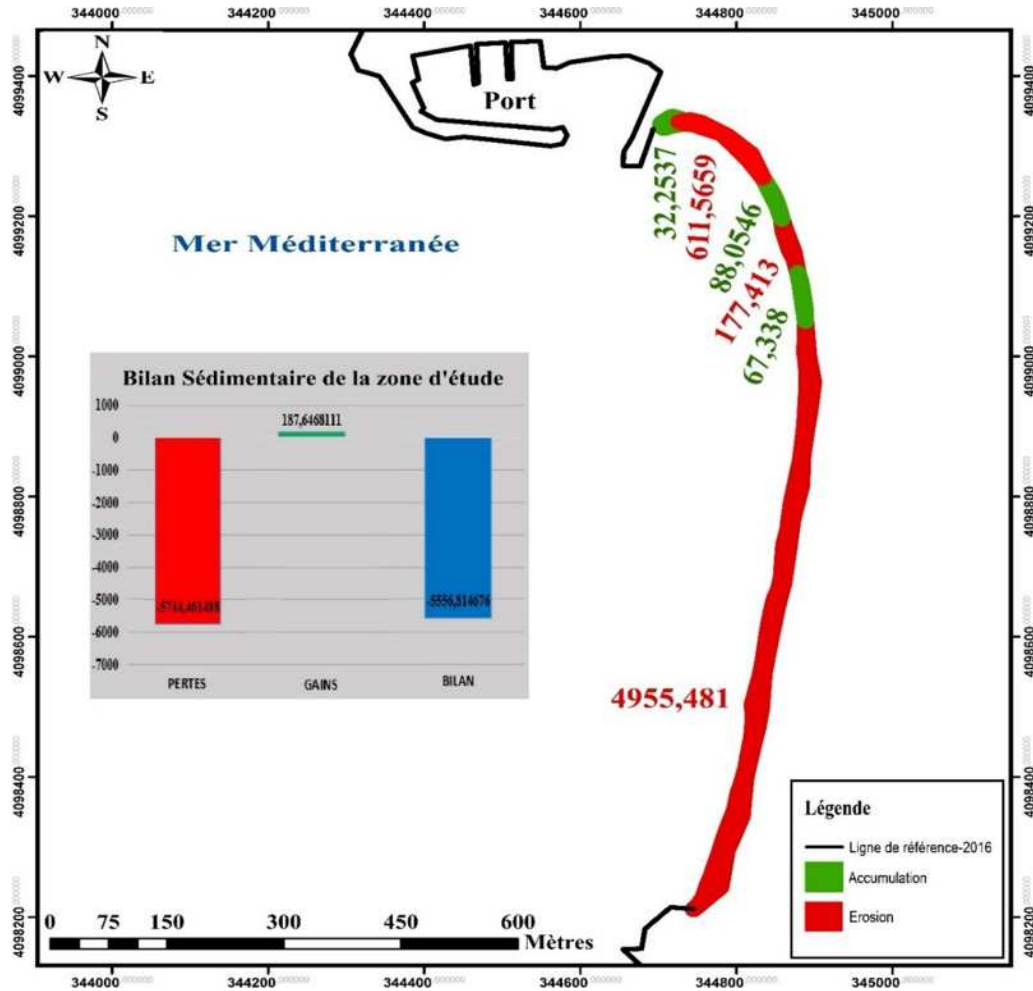
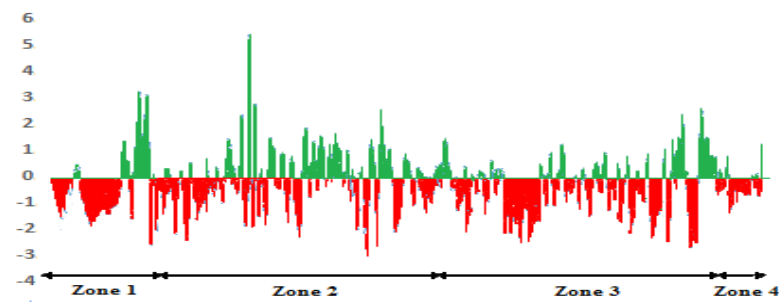


Figure IV.85 : Bilan sédimentaire de la partie Est (zone 4) du golfe de Skikda de 2004 à 2016.

Figure IV.86 : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) du golfe de Skikda entre 2004 et 2016.

-6944 m²/an
(Sur 2861 transects)
-83333 m²

Taux
Total

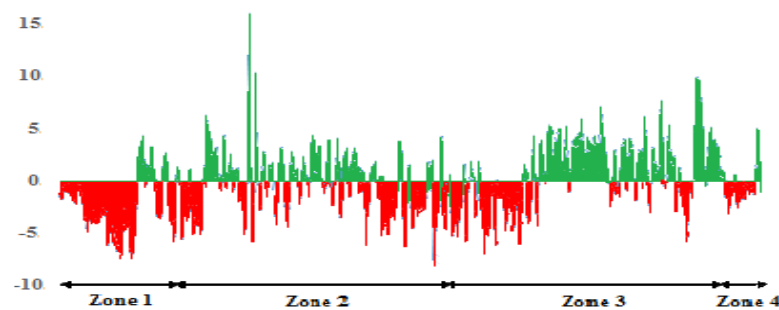


+ 0.76 m.an⁻¹

- 0.84 m.an⁻¹

2004-2016

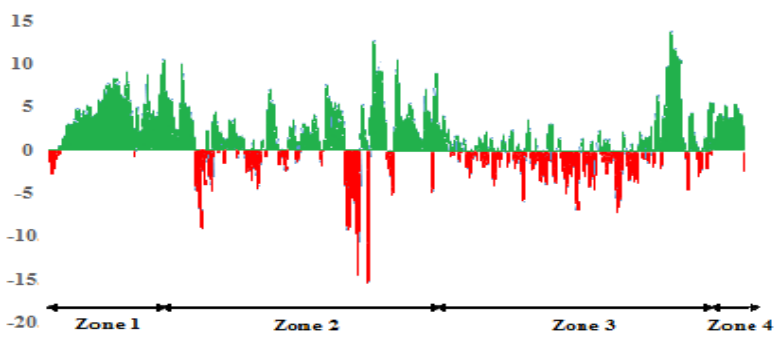
Vitesse de l'évolution



+ 2.29 m.an⁻¹

- 2.47 m.an⁻¹

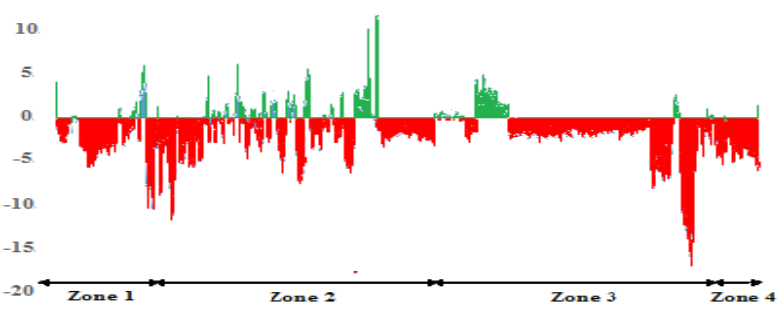
2012-2016



+ 3.34 m.an⁻¹

- 2.33 m.an⁻¹

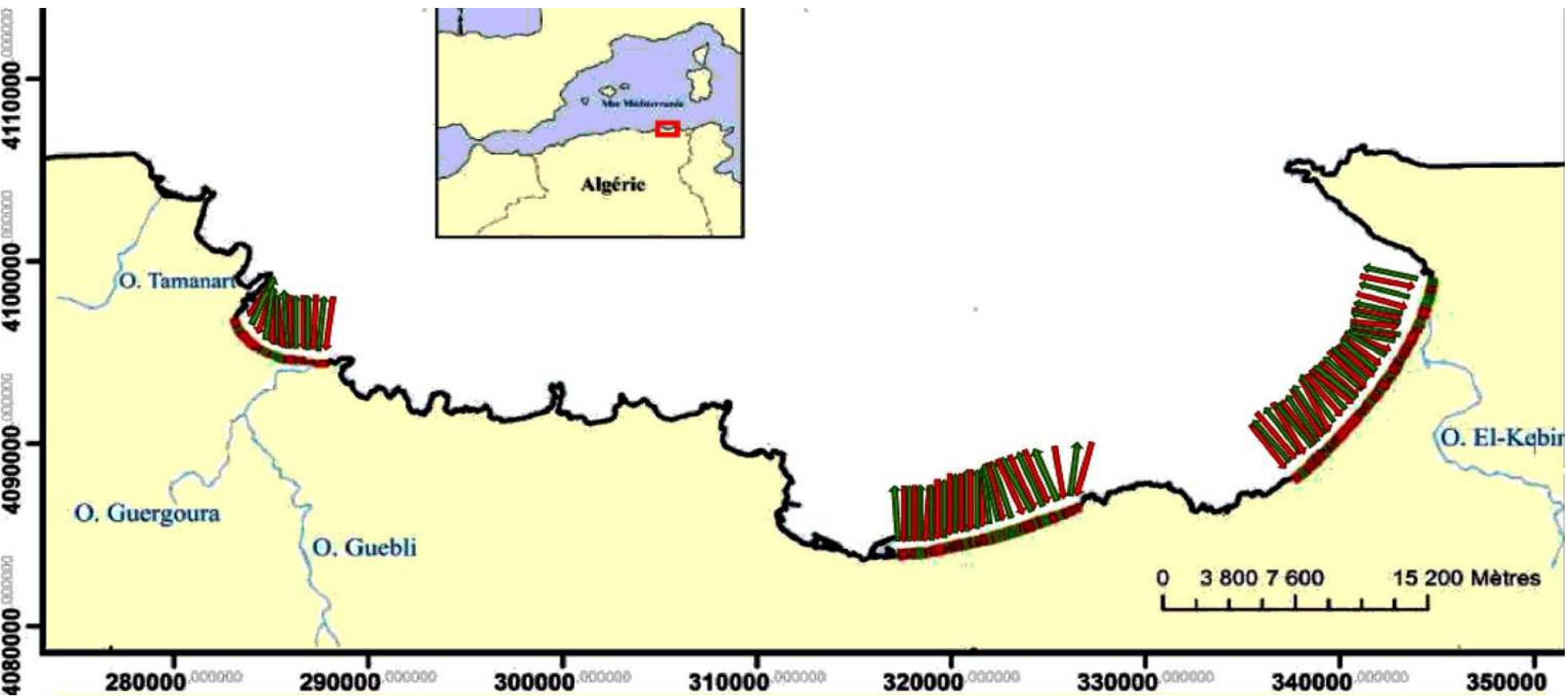
2008-2012



+ 1.74 m.an⁻¹

- 2,69 m.an⁻¹

2004-2008



Localisation des zones mesurées

Direction de l'évolution :

- Accrétion 2004-2016
- Erosion 2004-2016

- Ligne de référence 2016
- Accrétion
- Erosion

Projection : Universal Transverse Mercator
Zone 32 Nord, Ellipsoïde WGS84
Amorces du quadrillage métrique UTM
(Chiffrés tous les 10000m)

Réalisation : Meziane & Ahfir, 2016

Chapitre V

Etude granulo-sédimentaire (Cas d'exemple : plage Est de Sidi Fredj)

CHAPITRE V

ETUDE GRANULO-SEDIMENTAIRE

(CAS D'EXEMPLE : PLAGE EST DE SIDI FREDJ)

INTRODUCTION

Les sédiments reposant sur les fonds marins sont transportés lorsqu'ils sont soumis à de fortes sollicitations, ou des efforts de cisaillement, provoqués par les mouvements des masses d'eau. Ces mouvements peuvent être produits par les courants de marée ou par les vitesses orbitales des vagues ou une combinaison des deux, ce dernier cas étant la situation où le transport est le plus important (Figure V.1).



Figure V.1 : Schéma de principe du transport des sables et des graviers (source : www.ifremer.fr).

Le transport sédimentaire littoral est donc déterminé par :

- la hauteur, la période et la direction des vagues,
- le déferlement: types, zone d'action,
- les courants: vitesses et directions,
- l'épaisseur de la colonne d'eau,
- les propriétés sédimentaires.

Ce chapitre nous permet de présenter la méthodologie suivie lors de ce travail et le matériel utilisé, que ce soit des prélèvements, analyses faites au laboratoire ou des traitements de résultat par des logiciels spécifiques.

V.1.PRELEVEMENT ET ECHANTILLONNAGE

V.1.1.Site d'étude

La presqu'île de Sidi-Fredj (anciennement Sidi-Ferruch) large d'environ 620 mètres, se situant à environ 25 km à l'ouest d'Alger. Du point de vue administratif elle appartient à la commune de Staouéli, daïra de Zéralda et Wilaya d'Alger (Figure V.2).

Ses coordonnées Géographiques sont :

- Longitude EST 2°50' et 2°52'
- Latitude NORD 36°45' e 36°47'



Figure V.2 : Localisation géographique de la zone d'étude (Google earth 2016).

V.1.2. Prélèvement dans la partie aérienne

A l'aide d'un GPS, l'étude sédimentologique a été effectuée sur 20 échantillons de sédiments superficiels prélevés sur la plage à la main. Les échantillons ont été ensuite mis dans des sacs en plastique et étiquetés (Photo V.1). Les échantillons ont été réparti sur 10 profils (Figure V.3).



Photo V.1 : Prélèvement d'un échantillon.



Figure V.3 : Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne.

V.1.3. Prélèvement dans la partie marine

A l'aide d'une benne preneuse de type « Van-Veen » attachée à un câble et envoyée sur le fond en mer, l'étude sédimentologique a été effectuée sur 28 échantillons de sédiments superficiels (Figure V.4). Une fois remontée, les échantillons ont été ensuite récupérés et mis dans des sacs en plastique et étiquetés.

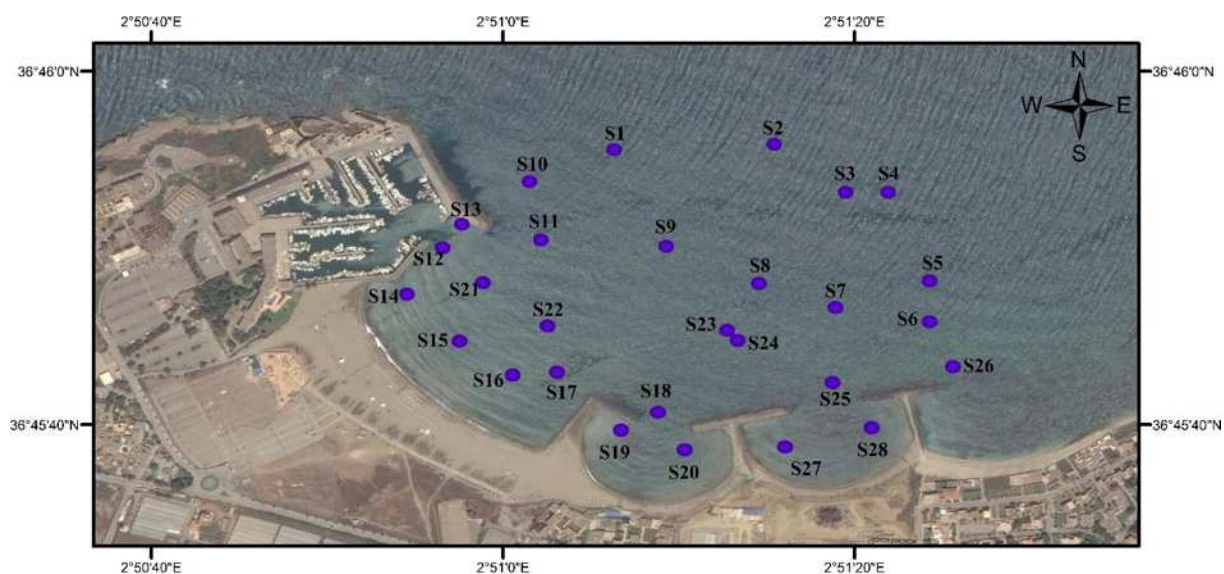


Figure V.4 : Positionnement des points de prélèvement dans la partie marine.

V.2. ETUDE AU LABORATOIRE

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...).

- Tamisat : partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.
- Refus : partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.
- Refus cumulé : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.

Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamisats cumulés, sont représentés sous la forme d'une courbe granulométrie en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée de manière continue et ne peut pas passer rigoureusement par tous les points.

V.2.1. Protocole d'analyse

La technique de mesure la plus couramment utilisée est le tamisage à sec. Nous examinerons successivement ces différentes opérations.

a. Préparation du matériel

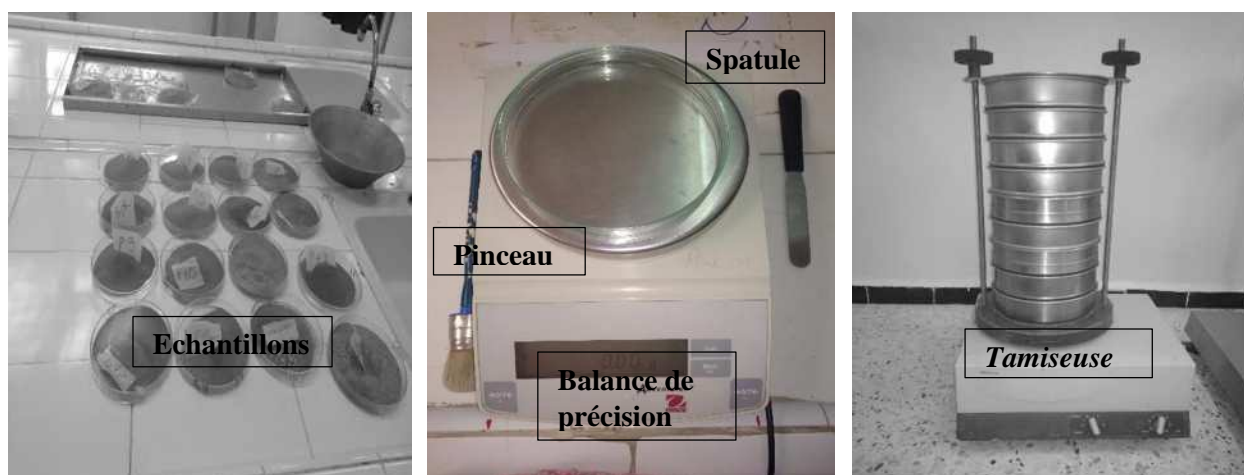
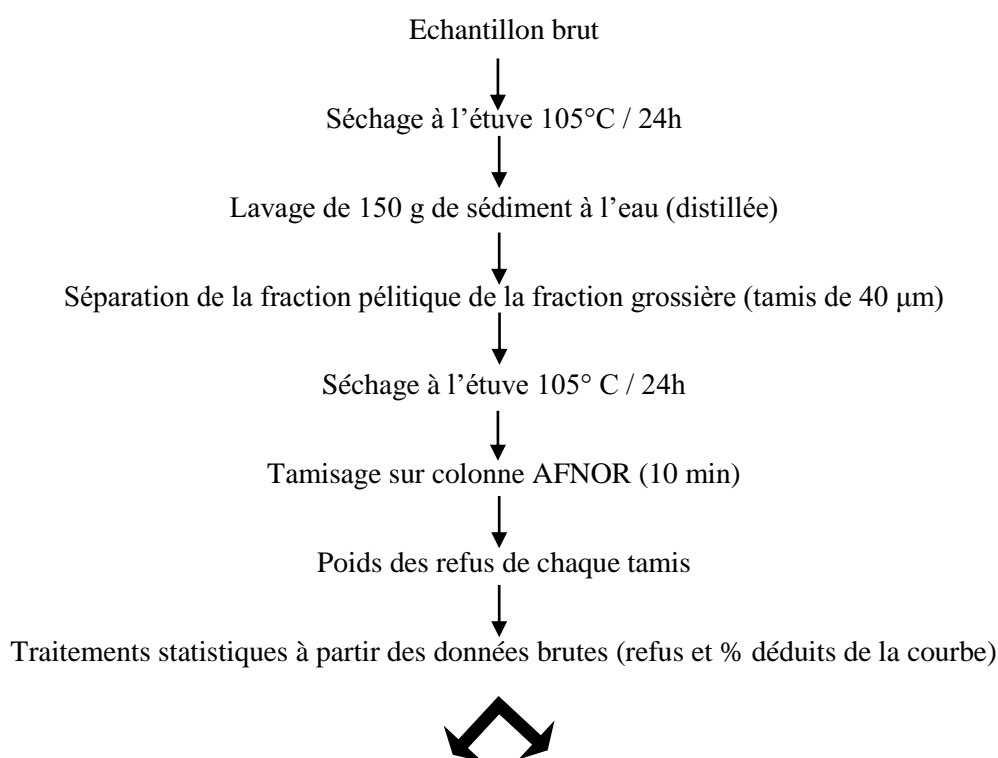


Photo V.2 : Matériels utilisés lors d'analyse.

V.2.2. Méthode d'analyse



Représentation graphique

- courbe cumulative en ordonnées arithmétiques

Paramètres texturaux

- calcul des indices les plus couramment employés par la méthode des quartiles

V.2.3. Calcul des paramètres granulométriques

Cette phase se traduit par une représentation sous forme de courbes cumulatives représentant le pourcentage des refus cumulés en fonction du logarithme des mailles des tamis utilisés. C'est à partir de ces courbes que les paramètres granulométriques sont déduits.

a. Les paramètres de position :

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe cumulative en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond. Ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques.

- *Les quartiles :*

- Q25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile.

- Q50 (D50) : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.
- Q75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.

- *Les quantiles*

- D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile.
- D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

- *Le mode granulométrique :*

Le mode granulométrique (Mo) correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique, c'est-à-dire la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment.

b. Les indices granulométriques :

b.1. Indice central

C'est de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments. Il traduit la puissance moyenne des paléoécoulements (LOSSON et CORBONNOIS, 2006).

- Folk et Ward : $M_z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3$

Tableau V.1. Les valeurs adoptées de M_z .

Limite de M_z	Taille moyenne
$M_z < -6$	Galet
$-6 < M_z < -2$	Granule
$-2 < M_z < -1$	Sable très grossier
$-1 < M_z < 0$	Sable grossier
$0 < M_z < 1$	Sable moyen
$1 < M_z < 2$	Sable fin
$2 < M_z < 3$	Sable très fin
$3 < M_z < 3.98$	Vase

b.2. Les indices de dispersion ou de classement:

Ils donnent une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen, et nous renseignent sur le degré de classement du sédiment.

- Le sorting de Trask : $S_o = (Q_{75} / Q_{25})^{1/2}$

$$\text{- Folk et Ward : } S_i = \left[\frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} \right] + \left[\frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6,6} \right]$$

Tableau V.2. Les valeurs adoptées de S_o pour le classement.

Les Valeurs de S_o	Le classement
$S_o < 1$	Très bien classé
$1 < S_o < 2.5$	Bien classé
$2.5 < S_o < 3$	Normalement classé
$3 < S_o < 4$	Mal classé

b.3. Les coefficients d'asymétrie :

Ils indiquent la prédominance des sédiments fins ou des sédiments grossiers. Ils caractérisent le degré de symétrie de la courbe granulométrique par rapport à la médiane.

$$\text{- Folk et Ward : } SKi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Tableau V.3. Les valeurs adoptées de SK pour l'asymétrie.

Limite de SK	L'asymétrie
$SK < 1$	Classement maximum vers les fines
$SK = 1$	La symétrie est parfaite
$SK > 1$	Classement maximum vers les grossiers

b.4. L'indice d'acuité:

Le kurtosis est l'indice d'acuité du mode, il mesure l'angulosité de la courbe des fréquences. Si le mode est concentré dans des classes granulométriques restreinte, on a une distribution leptocurtique, s'il est dispersé on a une distribution platicurtique.

$$\text{- Folk et Ward : } KG = \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

Tableau V.4. Les valeurs adoptées de KG pour l'acuité du mode.

Limite de KG	Acuité du mode
$3 < KG$	Courbe extrêmement leptocurtique
$1.5 < KG < 3$	Courbe très leptocurtique

1.1 < KG < 1.5	Courbe leptocurtique
0.9 < KG < 1.11	Courbe mesocurtique
0.67 < KG < 0.9	Courbe platycurtique
KG < 0.67	Courbe très platycurtique

Un programme en MATLAB nous a permis d’effectuer le calcul de ces paramètres granulométriques (Figure V.5).

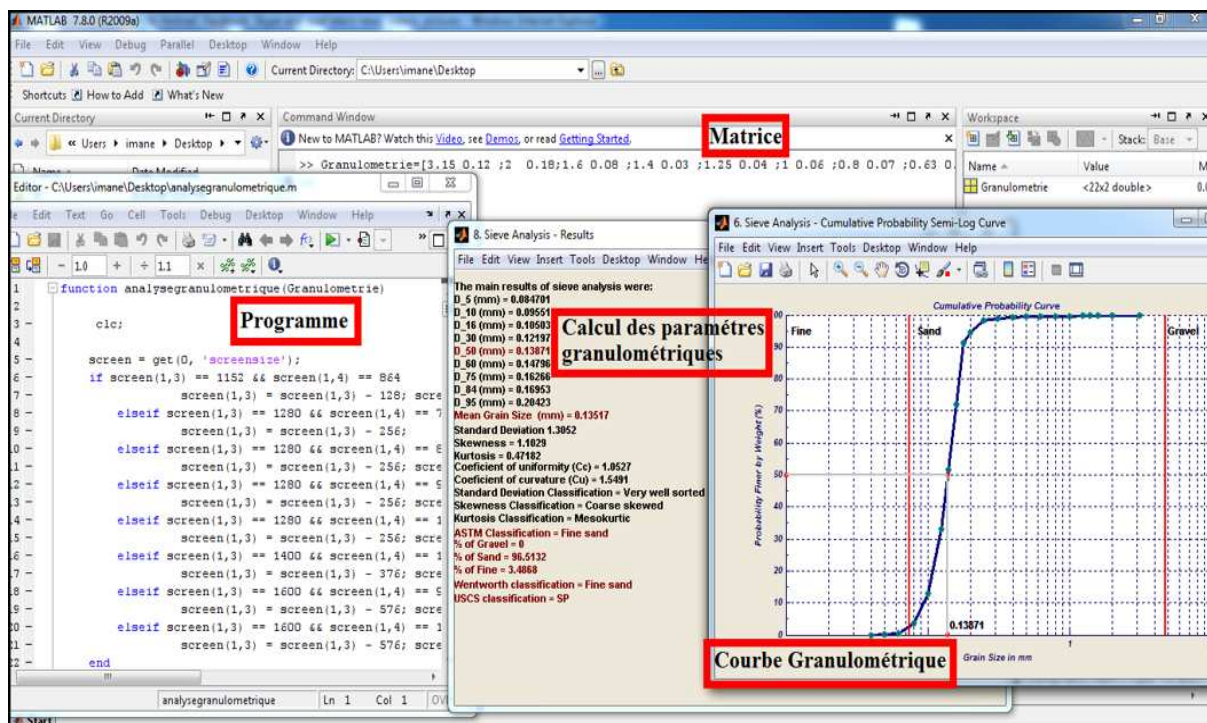


Figure V.5 : Interface graphique sous Matlab pour extraire les paramètres et les courbes granulométriques à partir d’une matrice.

V.3. RESULTATS

V.3.1. Analyse de la fraction fine

Les teneurs en fraction fine (< 40 μm), calculées pour l’ensemble des stations, nous ont permis d’établir la carte de répartition des pélites. Cependant, la fraction pélitique est représentée dans l’ensemble des échantillons avec des taux variables d’une station à une autre (Figure V.6) (Figure V.7).

- Partie aérienne

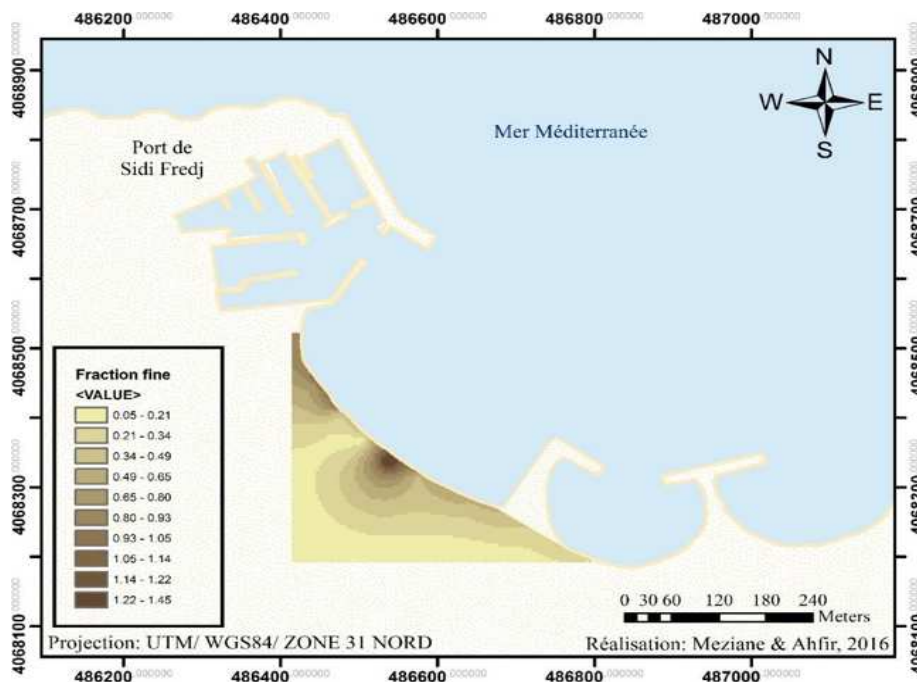


Figure V.6 : Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie aérienne.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en fraction fine augmente en avançant vers le trait de côte. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les stations 11 et 12. Ces teneurs en pélites sont faibles, et ne dépassent pas le 1.5 %.

- Partie marine

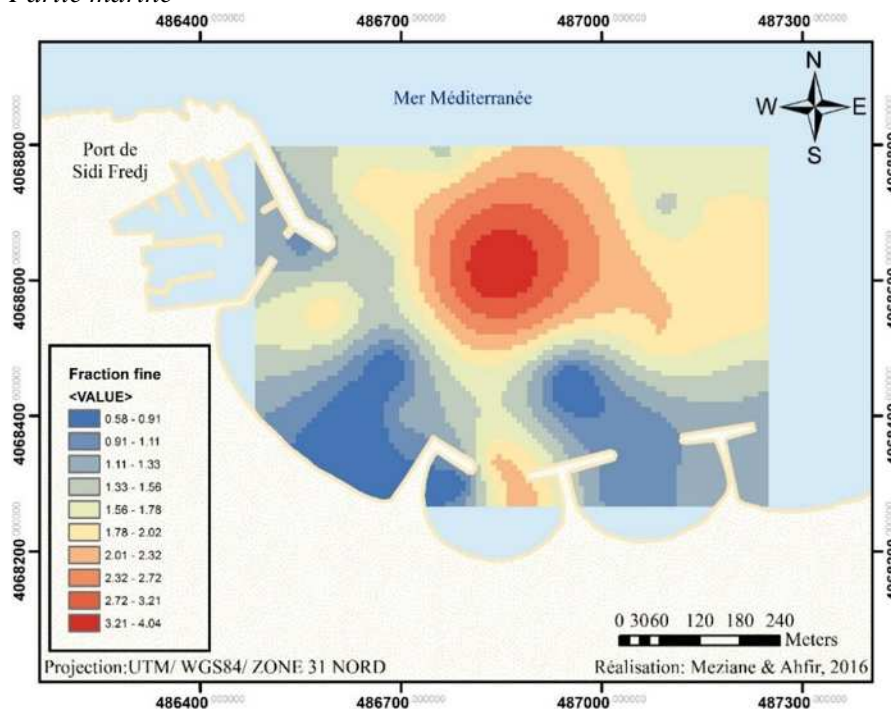


Figure V.7 : Carte de la répartition des pélites (%) dans la partie marine.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en fraction fine augmente en avançant vers large. La station 9 localisée au centre, renferme la teneur la plus élevée. Par contre, les teneurs les plus faibles sont enregistrées généralement dans les faibles fonds.

V.3.2. Analyse de la fraction grossière

a. Le grain moyen

Le grain moyen est représenté dans l'ensemble des échantillons avec des taux variables d'une station à une autre. (Figure V.8).

- *Partie aérienne*

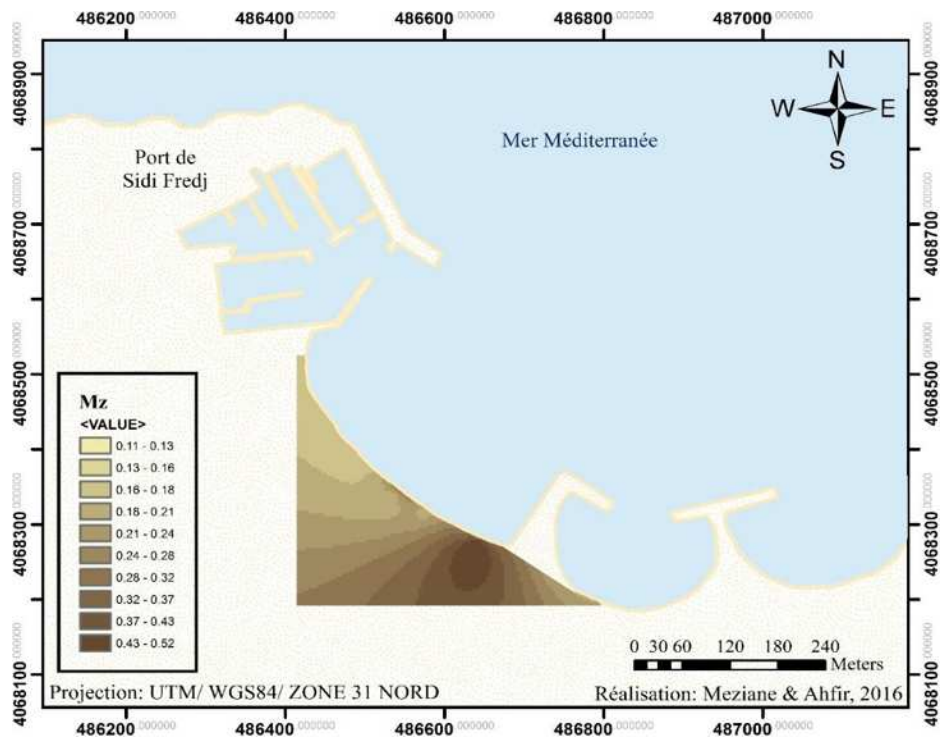


Figure V.8 : Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie aérienne.

Les résultats obtenus montrent que la teneur en fraction grossière augmente en avançant de l'ouest de la zone d'étude (port) vers l'est (avant l'épi en L). Le faciès sédimentaire de la haut plage prospectée est dominé essentiellement par des sables fins à moyens ($125\mu\text{m} < Mz < 500\mu\text{m}$). La teneur la plus élevée qui se traduit par un sable grossier ($500\mu\text{m} < Mz < 1\text{mm}$) est enregistrée dans les stations 16, cela est dû à un rechargement artificiel observé lors des prélèvements sur terrain.

- *Partie marine*

Les résultats obtenus montrent que la teneur en fraction grossière en général se traduit par un sable très fin à fin ($63\mu\text{m} < M_z < 250\mu\text{m}$). La teneur la plus élevée qui se traduit par un sable grossier ($500\mu\text{m} < M_z < 1\text{mm}$) est enregistrée dans les stations 24 (Figure V.9).

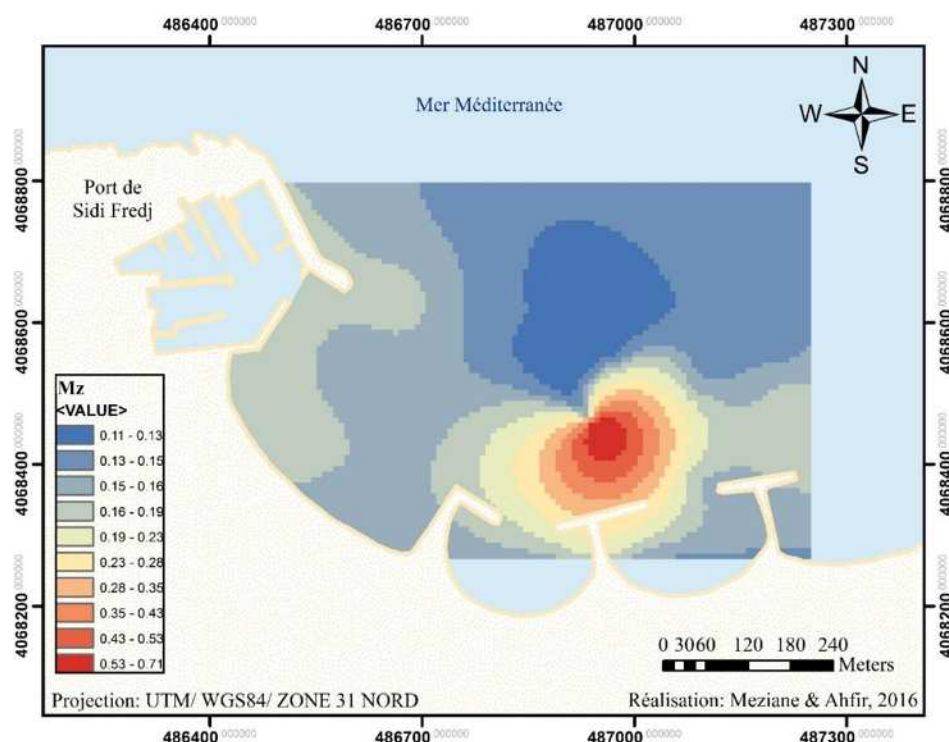


Figure V.9 : Carte de la répartition du grain moyen (mm) dans la partie marine.

c. Les indices granulométriques

- *Partie aérienne*

Tableau V.5 : Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats.

N°	M _z	S ₀	Ski	KG	Grain Moyen	Classement	Asymétrie	Acuité Mode
1	0,16334	1,2032	1,0575	0,39386	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
2	0,17582	1,2606	0,86856	0,39546	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
3	0,1818	1,2167	0,81765	0,42345	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
4	0,18035	1,2158	0,82923	0,40641	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
5	0,17545	1,2218	0,90884	0,38049	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
6	0,17255	1,2075	0,91199	0,36521	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
7	0,17318	1,2042	0,93417	0,4029	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
8	0,18075	1,2262	0,8275	0,40762	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
9	0,17161	1,1892	0,93047	0,37145	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
10	0,19477	1,3143	0,74132	0,40084	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
11	0,31972	1,702	1,0342	0,6133	Sable moyen	Moyennement classé	Vers les grossiers	Très platicurtique

12	0,21275	1,4366	0,70644	0,39804	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Platicurtique
13	0,25802	1,6788	0,72522	0,54093	Sable moyen	Moyennement classé	Vers les fines	Platicurtique
14	0,20451	1,3922	0,68961	0,38428	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Platicurtique
15	0,23765	1,6885	0,65561	0,44859	Sable moyen	Moyennement classé	Vers les fines	Très platicurtique
16	0,44562	2,0567	1,2161	0,58662	Sable moyen	Mal classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
17	0,16724	1,188	1,0043	0,3482	Sable fin	bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
18	0,18186	1,2356	0,80928	0,41916	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
19	0,18503	1,2058	0,85879	0,4756	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
20	0,22883	1,4318	0,82458	0,82458	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Platicurtique

- *Partie marine*

Tableau V.6 : Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats.

N°	M _z	S _o	Ski	KG	Grain Moyen	Classement	Asymétrie	Acuité Mode
1	0,13517	1,3052	1,1029	0,47182	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
2	0,13592	1,3303	1,0999	0,46129	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
3	0,14091	1,3011	1,1148	0,4481	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
4	0,13814	1,2943	1,01	0,45233	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
5	0,14011	1,3006	1,0766	0,44582	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
6	0,18171	1,4588	0,80251	0,36018	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Très platicurtique
7	0,14772	1,2937	1,1548	0,39924	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
8	0,13254	1,2934	1,0589	0,48016	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
9	0,12904	1,3359	1,0623	0,48305	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
10	0,14823	1,3013	1,1083	0,38843	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
11	0,17768	1,3056	0,81623	0,38884	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
12	0,18171	1,4588	0,80251	0,36018	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Très platicurtique
13	0,16708	1,243	0,96156	0,32261	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
14	0,17877	1,2441	0,8567	0,38469	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
15	0,1639	1,3972	0,85661	0,25643	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Très platicurtique
16	0,16759	1,325	0,88716	0,28042	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
17	0,15352	1,2339	1,1203	0,41546	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
18	0,25524	1,9006	0,68689	0,5474	Sable fin	Mal classé	Vers les fines	Très platicurtique
19	0,16282	1,2495	1,0286	0,37531	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
20	0,15211	1,2769	1,0109	0,35667	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
21	0,14576	1,3204	0,9904	0,40676	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
22	0,14901	1,4116	0,95606	0,32025	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Très platicurtique
23	0,71059	2,2811	1,0718	0,43779	Sable grossier	Mal classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
24	0,15502	1,2799	0,95008	0,31412	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
25	0,16943	1,3248	0,86264	0,37527	Sable fin	Assez bien classé	Vers les fines	Très platicurtique
26	0,18131	1,4134	0,78325	0,37211	Sable fin	Moyennement classé	Vers les fines	Très platicurtique
27	0,14821	1,2171	1,0374	0,45822	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique
28	0,15167	1,2286	1,1413	0,43935	Sable fin	Assez bien classé	Vers les grossiers	Très platicurtique

V.4. MODELISATION DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE

Dans notre cas, la modélisation du transport sédimentaire a été faite en utilisant le module MIKE 21/3 Coupled Model FM, qui est un modèle numérique développé par DHI. C'est un couplage typique entre le modèle hydrodynamique MIKE21-HD avec le modèle de réfraction de vague MIKE21-SW et le modèle de transport de sable MIKE21-ST.

Le résultat obtenu est le suivant (Figure V.10) :

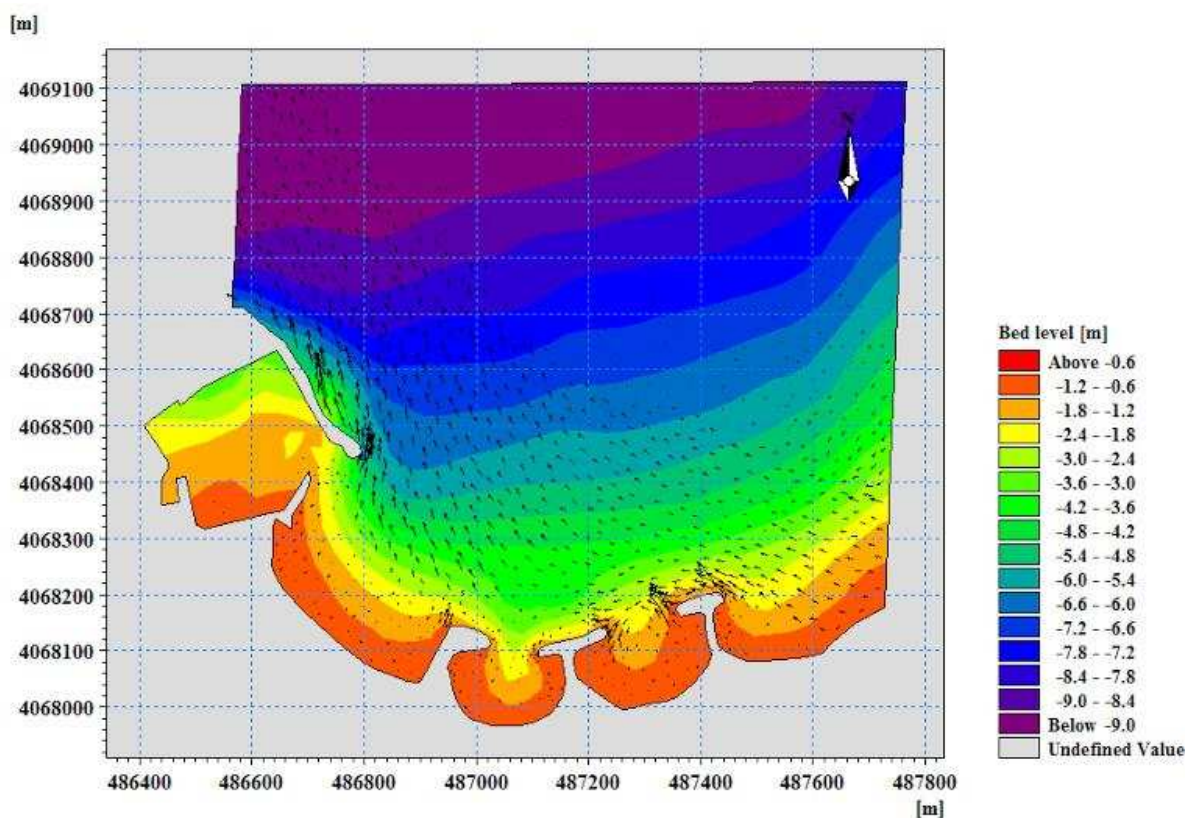


Figure V.10 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi-Fredj.

Le résultat de la carte obtenu montre qu'il y a une tendance de perte de sédiments vers le large. Les houles provenant des directions Nord-Est et Est atteignent le site de façon plus ou moins frontale, engendrant la formation d'une dérive littorale dans la direction Est – Ouest, qui assure la dissémination des sédiments dans le même sens, engendrant l'ensablement du port. Cela pourrait être expliqué par la configuration géographique de la côte ainsi que la présence du port, qui protège notre zone d'étude des houles du secteur Nord - Ouest qui sont significatives en fréquence et en amplitude.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Ce mémoire portant sur la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses, avait pour principal objectif de mettre en évidence et de mesurer les phénomènes d'érosion et d'accumulation intervenus depuis plusieurs décennies.

La méthodologie mise en avant dans ce travail a réussi à valoriser les apports de la modélisation numérique par l'utilisation du modèle numérique Mike 21 et d'un SIG.

Tout d'abord, on a utilisé le modèle numérique Mike 21, afin de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle de nos zones d'études. La première partie nous a permis une bonne reconnaissance de la morphologie sous-marine. La deuxième partie nous a également permis d'exploiter les caractéristiques de la houle au large, avec estimation de la direction et de la hauteur de la houle significative à la côte. Cette modélisation nous a renseignés sur le fond de nos zones d'études qui se caractérise généralement par une morphologie plus ou moins régulière parallèle à la côte avec la présence des barres sous-marine, sauf à la zone 4 de la baie d'Alger et la zone 1 et 4 au niveau de la baie de Skikda, qui se caractérisent par un fond irrégulier avec la présence des barres sous-marine.

Ensuite, on a entamé une méthodologie portant sur l'apport potentiel SIG (utilisation combinées des logiciels DSAS et ArcGis® ESRI). Cette méthode repose sur une analyse des tendances d'évolution du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation. Les résultats de ces traitements sont comme suit :

Pour le golfe d'Oran, la côte étudiée a connu une accumulation généralisée de l'ordre de $0,95 \text{ m.an}^{-1}$ avec un bilan sédimentaire quantifié sur les 12 ans de $4511 \text{ m}^2/\text{an}$. Les zones étudiées sur la baie de Bou-Ismaïl ont également connu une accumulation de l'ordre de $1,29 \text{ m.an}^{-1}$ avec un bilan sédimentaire quantifié sur les 12 ans de $9268 \text{ m}^2/\text{an}$. Concernant la baie d'Alger, les côtes sableuses étudiées soulignent une accumulation généralisée de l'ordre de $0,64 \text{ m.an}^{-1}$ avec un bilan sédimentaire quantifié sur les 12 ans de $2529 \text{ m}^2/\text{an}$. L'étude diachronique de la partie ouest du golfe de Bejaia qui est basée sur les photographies aériennes des missions de 1989 et 2015, a permis la quantification d'une érosion de l'ordre de $-2,06 \text{ m.an}^{-1}$ avec un bilan sédimentaire de $-16271 \text{ m}^2/\text{an}$ sur une période de 26 ans. Ainsi, l'examen des images satellitaires sur une période de 12 ans montre un recul ($-0,84 \text{ m.an}^{-1}$) exceptionnel du trait de côte qui a affecté la majorité des plages étudiées sur la baie de Skikda dont le bilan sédimentaire est $-6944 \text{ m}^2/\text{an}$.

Enfin, Pour mieux se familiariser avec le terrain, on a entamé une étude de cas concernant la plage Est de Sidi Fredj. Des échantillons ont été prélevés et analysés au sien de laboratoire. La cartographie de la répartition des pélites et du grain moyen a été réalisée à l'aide d'un SIG (ArcGis). On remarque que sur la partie aérienne, la répartition des pélites augmente en avançant vers le trait de côte et que la fraction

grossière (grain moyen) augmente en avançant de l'Ouest vers l'Est de la zone. Par contre sur la partie marine, la teneur en fraction fine augmente en avançant vers le large.

La modélisation du transport sédimentaire dans cette partie a été réalisée par le module Mike 21/3 couplé au modèle FM, qui nous a permis de modéliser le transport sur cette plage où on a pu montrer qu'il y'a une tendance de perte des sédiments vers le large dans la direction Est-Ouest, cela peut expliquer la cause de l'ensablement du port.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances avec les techniques de modélisation, d'analyse et de se familiariser avec le terrain afin de mieux comprendre la dynamique côtière.

Bibliographie

- AINI, A. (2014).** *Morphodynamics of the coastal zone of Sidi-Fredj Peninsula (West Algiers)*. Turkey: International congress on "estuaries and coastal marine protected Areas" ECPA 2014, p. 2-8
- AOUDJ, C., BOUAZIZ, T. (2014).** *Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Béjaïa*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ENSSMAL, p. 81-95
- ANFUSO, G., MARTINEZ DEL POZO, J.A. (2005).** *Towards management of coastal erosion problems and human structure impacts using GIS tools: case study in Ragusa Province, Southern Sicily, Italy*: Environmental Geology. 48 (4-5), p. 646 – 659
- BARTLETT, D., SMITH, J. (2005).** *GIS for coastal zone management*. Florida: CRC press, p. 2-6
- BERKENNOU, N., SALLAYE, M. (2012).** *Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p. 5-15
- BERNI, C. (2011).** *Processus de mobilisation et de transport de sédiments dans la zone de déferlement*. Thèse de doctorat. Génie côtier. France: Université de Grenoble, 249 p.
- BIRD, E. C. (1993).** *Submerging coasts: the effects of a rising sea level on coastal environments*. London: Wiley. 250 p.
- BIRD, E.C.F. (1985).** *Coastal changes, a global review*. London: Wiley. Chichester, 1985, 219 p.
- BEER, T. (1997).** *Environmental oceanography*. London: CRC press, 367 p.
- BONNEFILLE, R. (1992).** *Cours d'hydraulique maritime*. France : Masson, 208 p.
- BOUTIBA, M. (2004).** *Biodiversité marine et littorale algérienne*. Algérie : SONATRACH, p. 14-19.
- BOUTIBA, M. (2012).** *Les risques côtiers en Algérie*. Document non publié. Algérie : Rapport /MATE-PAP RAC/.
- BOUTIBA, Z. (1992).** *Les mammifères marins d'Algérie. statut, répartition, biologie et écologie*. Thèse de doctorat. Science de l'environnement et climatologie. Oran : Université d'Oran, 575 p.
- BOUTIBA, Z. (1996).** *La pollution : menace sur le peuplement marin en Méditerranée*. Oran : 3^{ème} colloque national climat - environnement «L'environnement côtier» (ARCE), p. 230-242
- BOUTIBA, Z. (2003).** *Etat de la pollution marine de la côte oranaise*. Oran : Dar EL Gharb, 69 p.
- BOURAS, D., BOUTIBA, Z. (2006).** *Analyse et cartographie des risques littoraux (littoral oranais, Algérie nord occidentale)*. Algérie : Bull. Science géographique. INCT, p. 45-55
- BOWEN, A. (1969).** Rip currents: 1.Theoretical investigations. *Journal of Geophysical Research*, p. 5467–5478
- BRAIK, D. (1989).** *Etude de la dynamique sédimentaire devant Boulsamïl: Sédimentologie –Morphologie, Problème d'érosion du littoral*. Mémoire de magister. Géologie marine. Alger : UTSHB, 174 p.
- BRUNEAU, N. (2009).** *Modélisation morphodynamique des plages sableuses*. Thèse de doctorat. Physique de l'environnement. France : Université de Bordeaux I, 321 p.
- BUJAN-NANS. (2009).** *Application d'un modèle de circulation quasi-tridimensionnel littoral a la dynamique des plages du Languedoc-Roussillon*. Thèse de doctorat. Physique de l'environnement. France : Université de Montpellier II. 250 p.
- CARTER, R. (1988).** *Coastal environments: an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Canada: Academic press. 180 p.
- CARTER, R. (1994).** *Coastal evolution: late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge: University press, 517 p.

- CASTELLE, B. (2006).** *Modélisation du courant sagittal induit par les vagues au-dessus des systèmes barre/baine de la côte aquitaine.* France : Université de Montpellier I C.R. Géoscience, p. 711–717
- CHRISTOPHE, B. (2005).** *Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée : l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet.* Thèse de doctorat. Physique de l'environnement. France : Université de Pau et des Pays de l'Adour. 257 p.
- COOPER, J. A., MCLAUGHLIN, S. (1998).** Contemporary multidisciplinary approaches to coastal classification and environmental risk analysis. *Journal of Coastal Research*, N°14(2), p. 512-524
- COWELL, P.J., THOM, B.G. (1994).** *Morphodynamics of coastal evolution.* In: R.G.W., Carter & Woodroffe, C.D. Coastal Evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamic. Cambridge: University Press, p. 33-86
- CROWELL, M. (1991).** Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of coastal research*, N°7 (3), p. 839-852
- CROWELL, M. (1993).** Shore-line change rate analysis: long term versus short term data. *Shore and Beach*, N°61(2), p. 13-20
- DEHOUCK, A. (2006).** *Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise.* Thèse de doctorat. Géologie marine. France : Université de Bretagne occidentale. 320 p.
- DERGALI, M.A. (1997).** *Reconnaissance du port d'Annaba et quelques aspects de son impact sur l'environnement côtier. Mémoire d'Ingénieur.* Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p. 20-60
- DESMAZES, F. (2005).** *Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte Aquitaine : exemple de la plage du truc vert.* Thèse de doctorat. Géologie marine. France : Université de Bordeaux1. 292 p.
- DE VRIEND, H.J. (1991).** Large-scale coastal evolution concept. New York: ASCE, *Proceedings of the 22th Coastal Engineering Conference*, p. 1962-1974
- DOMZIG, A. (2006).** *Déformation active et récente, et structuration tectonosédimentaire de la marge sous-marine algérienne.* Thèse de Doctorat. Géologie marine. France : Université de Bretagne Occidentale, 343 p.
- DOLAN, R. (1991).** Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, p. 723-744.
- EI ABDELLAOUI, J., OZER, A. (2007).** Étude diachronique et historique de l'évolution du trait de côte de la baie de Tanger. Maroc : *Journal of Coastal recherche*, Vol. 7, n° 1-2-3-4, p.157-171
- FADI, C. (2011).** *Apport potentiel des systèmes d'informations géographiques (SIG) pour une meilleure gestion d'un littoral dans une optique de développement durable : approches conceptuelles et méthodologiques appliquées dans le nord de la France.* Thèse de doctorat. Génie civil. France : Université des sciences et Technologies de Lille, 179 p.
- GARLAN, T. (2010).** *ECORS Modélisation hydro-sédimentaire d'une plage sableuse.* Rapport de master. Ingénierie du Littoral. France : SHOM.
- GASMI, O., BOULOUATA, S. (2013).** *Etude de protection du rivage maritime de Stora Skikda.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie : ENSSMAL, 65 p.
- GENEVIEVE, B. (2012).** *Rythme et mode de recul des falaises à sommet tourbeux de la côte-nord de l'estuaire maritime et du golfe du Saint-Laurent.* Mémoire Master. Canada : université du Québec à Rimouski, 175 p.
- HADEF, R. (2008).** *Quel projet urbain pour un retour de la ville a la mer? Cas d'étude Skikda.* Mémoire de magister. Ville et projet urbain. Algérie : Université Mentouri de Constantine, 341 p.
- HADDOUCHE, I. (2003).** *Etude de la pollution en baie de Bou-Ismaïl par les sels nutritifs et les métaux lourds en juillet 2002. Mémoire d'ingénieur.* Environnement Marin. Alger : ENSSMAL, p. 22-40

- HARDISTY, J. (1994).** Beach and Nearshore sediment Transport. In: *sediment Transport and Depositional Processes*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, p. 219-255
- HELOISE, M. (2011).** *Impactes des vagues sur les courants marins : Modélisation Multi-Echelle de la plage au plateau continental*. Thèse de doctorat. océanographie-géologie. France: Université de Montpellier II, 333 p.
- HEO, J. (2009).** A new methodology for measuring coastline recession using buffering and non-linear least squares estimation. *International Journal of geographical information science*, N°23 (9), p. 1165 – 1177
- HOCINI, N. (1991).** Application des traceurs radioactifs à l'étude de l'ensablement du nouveau port de Skikda. Rapport préliminaire : méthodes et résultats sédimentologiques. Algérie : C.D.T.N.
- HJULSTROM, F. (1935).** Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris. *Bulletin of the Geological Institute of Uppsala*, p. 221-527
- HUNTLEY, D.A., SHORT, A.D. (1992).** On the spacing between rip currents. Canada: *Coastal Engineering* p. 211-225
- IBRAHIMA, B., NDEBANE, F. (2010).** *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie a la Guinée-Bissau (Afrique de L'Ouest) : approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes*. Thèse de doctorat. géographie. France: Université de Bretagne occidentale, 72 p.
- KADI, A. (1997).** La gestion de l'eau en Algérie. *Hydrological Sciences (Journal des Sciences Hydrologiques)*, Vol.42, N°2, p. 191-197
- KHALDI, N. (2015).** *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants : application à la côte de Sidi-Fredj*. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 135 p.
- KHAOUNI, L. (2003).** *Etude des variations spatio-temporelle des sels nutritifs et de l'oxygène dissous en baie de Bou Ismail*. Mémoire d'ingénieur. Alger: ENSSMAL, p. 30-40
- KROON, A. (1994).** *Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone, near Egmond, The Netherlands*. Thèse de Doctorat, Netherlands : Université d'Utrecht, 275 p.
- LECLAIRE. (1972).** *Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien)*. France : Muséum national d'histoire naturelle. 381 p.
- LEVOY, F. (2000).** *Interaction dune-plage : dynamique éolienne et application aux aménagements dunaires*. France : Colloque Génie Civil - Génie côtier, p. 647-654.
- LONGUET-HIGGINS, M. S., STEWART, R. W. (1964).** *Radiation stresses in water waves; a physical discussion, with applications*. Deep-Sea Research, n°11, 529–562.
- LOSSON, B., CORBONNOIS, J. (2006).** *Les modes de sédimentation détritique: nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques*. Belgique : Geologica Belgica, p. 257-265
- M. ALEXIS, S. (2002).** *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha beach (Normandie)*. Thèse de doctorat. Science de la terre et de l'univers, espace. France : Université de Caen / Basse-Normandie, 276 p.
- MAOUCHE, S. (1987).** *Mécanismes hydrosédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique*. Thèse de 3^{ème} cycle. Océanologie-Géologie. France : Université de Perpignan, 214 p.
- MCLAUGHLIN, D.W. (2002).** Socioeconomic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunitie. *Journal of Coastal Research* (36), p. 487-49

- MCKEE SMITH, J. (1995).** *Undertow at Supertank*. Spain: Proc Coastal Dynamics, 94, ASCE Barcelona, p. 220-232
- MEZOUAR, K. (2009).** *Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain*. Thèse de doctorat. Géotechnique et fondation. Roumanie: Université Technique de Construction de Bucarest, 404 p.
- MEEDDM. (2010).** *La Gestion du Trait de Côte*. France: *Quae*, p. 2-3
- MOORE, L.J. (2000).** Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, n°16 (1), p. 111-124
- MOUZOURI, M., IZRI, Z. (2011).** *Evaluation et morphodynamique de la plaine de Saidia (littoral méditerranéen du Nord-Est du Maroc) durant la période 1958 – 2006*. Maroc : Bulletin de l'Institut Scientifique, section Science de la terre, n°33, p. 20-35
- OUKAZI, H. (1993).** *Le port de plaisance de Sidi Fredj: approche critique à travers son fonctionnement et l'impact sur l'environnement immédiat*. Mémoire d'Ingénieur. Environnement marin. Alger : ENSSMAL, p. 43-50
- OLIVEROS, C. (2011).** *Influences relatives des agents hydrodynamiques sur la mobilité sédimentaire des Pertuis Charentais : Cas des sédiments non-cohésifs*. European Journal of Environment and Civil Engineering, n°14 (2), p.193-205
- PASKOFF, R. (1998).** *Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution*. 3 éd. Paris : Armand Colin, 264 p.
- RAPHAEL, C. (2002).** *Morphodynamique d'une côte sableuse microtidal à barres : le golfe du Lion (Languedoc-Roussillon)*. Thèse de doctorat. Océanologie-Géologie. France: Université de Perpignan. 211 p.
- RAUBENHEIMER, D., SIMPSON. (1996).** *Meeting nutrient requirements: the roles of power and efficiency*. *entomologia experimentalis et applicate*, p. 65-68
- REFES, W. (2011).** *Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne*. Thèse de doctorat. Science de la mer. Algérie : Université badji mokhtar, Annaba. 280 p.
- ROBIN, M. (2002).** *Téledétection, Des satellites au SIG : une analyse complète du processus de création d'un type essentiel d'information géographique*. Paris : Nathan Université, 318 p.
- SHIELDS, A. (1936).** *Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der turbulenz forschung auf die Geschiebebewegung*. *Mitt. der Preuss. Versuchsamst*. Germany: für Wasserbau und Schiffbau, 320 p.
- SHORT, A.D. (1985).** Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model. Germany: *Marine Geology*, n° 62, p. 339-364
- SOULSBY, R. L. (1997).** Threshold of sediment motion in coastal environments. New Zealand: *University of Canterbury*, in *Proc. Pacific Coast and Ports 97 Conf*, p. 149–154
- STOKKOM, H. (1993).** Quantitative use of passive optical remote sensing over coastal and inland water bodies. *International journal of remote sensing* N° (14), p. 541-563
- SVENDSEN, I. A. (1984).** Wave heights and set-up in a surf zone. *Coastal Engineering*, n°8, p. 303–329
- THIELER, E.R., DANFORTH, W.W. (1994).** Historical shoreline mapping (II): application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, n°10 (3), p. 600-620
- THIELER, E.R. (2005).** Photogrammetry: Encyclopedia of Coastal Science. Netherlands: *Dordrecht, Kluwer Academic Publishers*, p. 764-769

- THOMAS, G. (1985).** *Géodynamique d'un bassin intra-montagneux, le bassin du bas Cheliff occidental (Algérie) durant le Mio-Plio-Quaternaire.* Thèse de doctorat. Géologie. France : Université. Pau, 594 p.
- VAN RIJN, L. (1989).** Handbook Sediment Transport by Currents and Waves. London: *Delft Hydraulics*, p. 203-260
- VAN RIJN, L.C. (1993).** Principles of sediment transport in rivers, estuaries and coastal seas. Amsterdam: *Aqua Publications*, p. 34-44
- VAN RIJN, L.C. (1998).** Principles of Coastal Morphology. Amsterdam: *Aqua Publications*, p. 23-55
- WALTON, T.L. (1992).** Wave reflection from natural beaches. London: *Coastal Engineering*, n°19, p. 239-258
- WILDI W. (1983).** La chaîne tello rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène. France : *Géologie. Dynamique. Géographie. Physique.*, n°3 (24), p 201-297
- WILLIAMS, S. (1990).** Coasts in crisis. *Germany: Geological survey circular*, p. 32-40
- WRIGHT, L.D., SHORT, A.D. (1984).** Morphodynamics of surf zones and beaches: a synthesis. *Canada: Marine Geology*, n°56, p. 93-118
- WRIGHT, L.D., THOM, B.G. (1977).** Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress. Physical Geography*, n°1(3), p. 412-459

Annexes

Calcul du coefficient de réfraction :

$$K_s * K_r = H_B / H_A \dots \dots \dots (1)$$

$$K_r = k_s * \frac{H_A}{H_B} \dots \dots \dots (2)$$

$$K_0 = \frac{4\pi^2}{g T}$$

$$\frac{Cg}{C0} = \sqrt{K_0} * d \left[1 - \frac{1}{2} (K_0 * d) + \frac{7}{72} (K_0 * d)^2 \right]$$

$$K_s = \sqrt{0,5} / \frac{C0}{Cg}$$

K_s : coefficient de shoaling.

K_r : Coefficient de réfraction.

H_B : la hauteur significative de houle à la côte.

H_A : la hauteur significative de houle au large.

d : La profondeur.

Cg : Célérité de groupe.

$C0$: Célérité de phase.

Tableau : Exemple de la table attributaire issue lors du traitement de la DSAS

OBJECTID	TransectId	TCD	EPR	ECI	SCE	NSM	LMS
1	1	10.000000000	-0,91	1556.000000000	3,65	-3,65	-0,9
2	2	20.000000000	-0,5	1556.000000000	1,98	-1,98	-0,49
3	3	30.000000000	-0,45	1556.000000000	1,81	-1,81	-0,45
4	4	40.000000000	-0,49	1556.000000000	1,96	-1,96	-0,49
5	5	50.000000000	-0,42	1556.000000000	1,7	-1,7	-0,42
6	6	60.000000000	-0,27	1556.000000000	1,08	-1,08	-0,27
7	7	70.000000000	-0,04	1556.000000000	0,16	-0,16	-0,03
8	8	80.000000000	0,14	1556.000000000	0,58	0,58	0,14
9	9	90.000000000	0,58	1556.000000000	2,34	2,34	0,58
10	10	100.000000000	0,55	1556.000000000	2,19	2,19	0,55
11	11	110.000000000	0,62	1556.000000000	2,46	2,46	0,62
12	12	120.000000000	0,68	1556.000000000	2,72	2,72	0,67
13	13	130.000000000	0,71	1556.000000000	2,84	2,84	0,7
14	14	140.000000000	0,73	1556.000000000	2,93	2,93	0,73
15	15	150.000000000	0,76	1556.000000000	3,06	3,06	0,75
16	16	160.000000000	1,06	1556.000000000	4,23	4,23	1,07
17	17	170.000000000	1,24	1556.000000000	4,96	4,96	1,23
18	18	180.000000000	1,06	1556.000000000	4,22	4,22	1,07
19	19	190.000000000	1,12	1556.000000000	4,48	4,48	1,11
20	20	200.000000000	1,06	1556.000000000	4,22	4,22	1,07
21	21	210.000000000	0,68	1556.000000000	2,72	2,72	0,67
22	22	220.000000000	0,08	1556.000000000	0,32	0,32	0,09
23	23	230.000000000	-0,36	1556.000000000	1,44	-1,44	-0,36
24	24	240.000000000	-0,33	1556.000000000	1,3	-1,3	-0,32
25	25	250.000000000	1,97	1556.000000000	7,89	7,89	1,96
26	26	260.000000000	-0,08	1556.000000000	0,31	-0,31	-0,07
27	27	270.000000000	0,81	1556.000000000	3,26	3,26	0,81
28	28	280.000000000	1,56	1556.000000000	6,25	6,25	1,54
29	29	290.000000000	1,44	1556.000000000	5,77	5,77	1,43
30	30	300.000000000	1,92	1556.000000000	7,68	7,68	1,88
31	31	310.000000000	1,01	1556.000000000	4,05	4,05	1
32	32	320.000000000	0,93	1556.000000000	3,71	3,71	0,93
33	33	330.000000000	0,82	1556.000000000	3,3	3,3	0,84
34	34	340.000000000	0,63	1556.000000000	2,53	2,53	0,62
35	35	350.000000000	1,15	1556.000000000	4,58	4,58	1,15
36	36	360.000000000	1,21	1556.000000000	4,86	4,86	1,23
37	37	370.000000000	1,21	1556.000000000	4,83	4,83	1,19
38	38	380.000000000	0,76	1556.000000000	3,05	3,05	0,75
39	39	390.000000000	0,93	1556.000000000	3,71	3,71	0,93
40	40	400.000000000	1,15	1556.000000000	4,58	4,58	1,15
41	41	410.000000000	0,77	1556.000000000	3,07	3,07	0,78
42	42	420.000000000	0,59	1556.000000000	2,37	2,37	0,6
43	43	430.000000000	0,39	1556.000000000	1,56	1,56	0,38
44	44	440.000000000	0,09	1556.000000000	0,35	0,35	0,09
45	45	450.000000000	0,17	1556.000000000	0,67	0,67	0,18
46	46	460.000000000	0,37	1556.000000000	1,47	1,47	0,36
47	47	470.000000000	0,49	1556.000000000	1,97	1,97	0,49
48	48	480.000000000	0,59	1556.000000000	2,38	2,38	0,6
49	49	490.000000000	0,74	1556.000000000	2,95	2,95	0,73
50	50	500.000000000	0,78	1556.000000000	3,13	3,13	0,78
51	51	510.000000000	0,97	1556.000000000	3,87	3,87	0,97
52	52	520.000000000	0,65	1556.000000000	2,61	2,61	0,65
53	53	530.000000000	0,24	1556.000000000	0,94	0,94	0,23
54	54	540.000000000	0,87	1556.000000000	3,47	3,47	0,87
55	55	550.000000000	0,84	1556.000000000	3,36	3,36	0,84

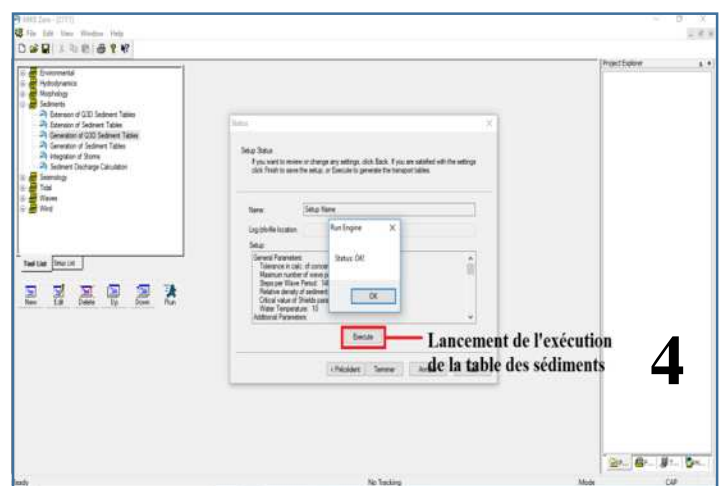
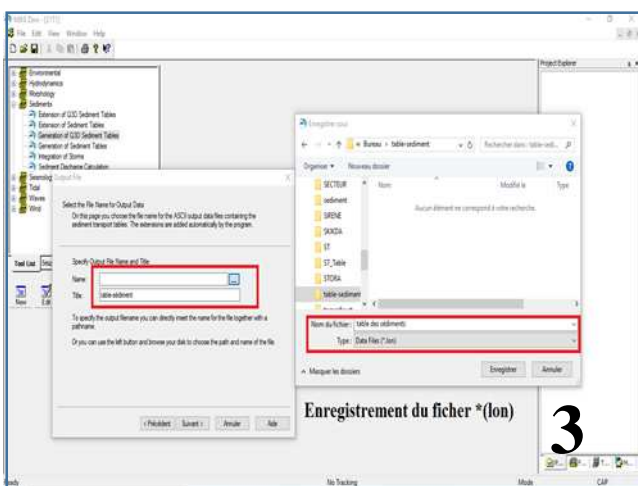
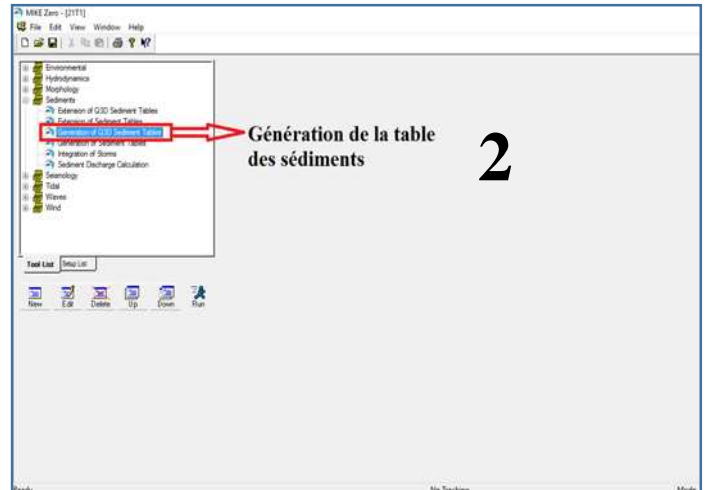
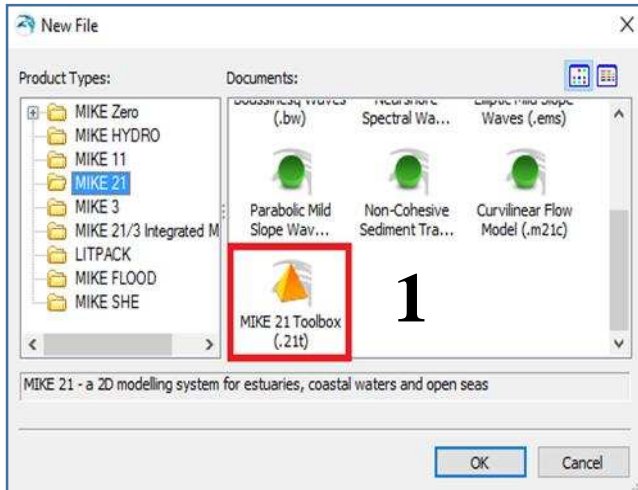


Figure : Préparation de la table des sédiments.

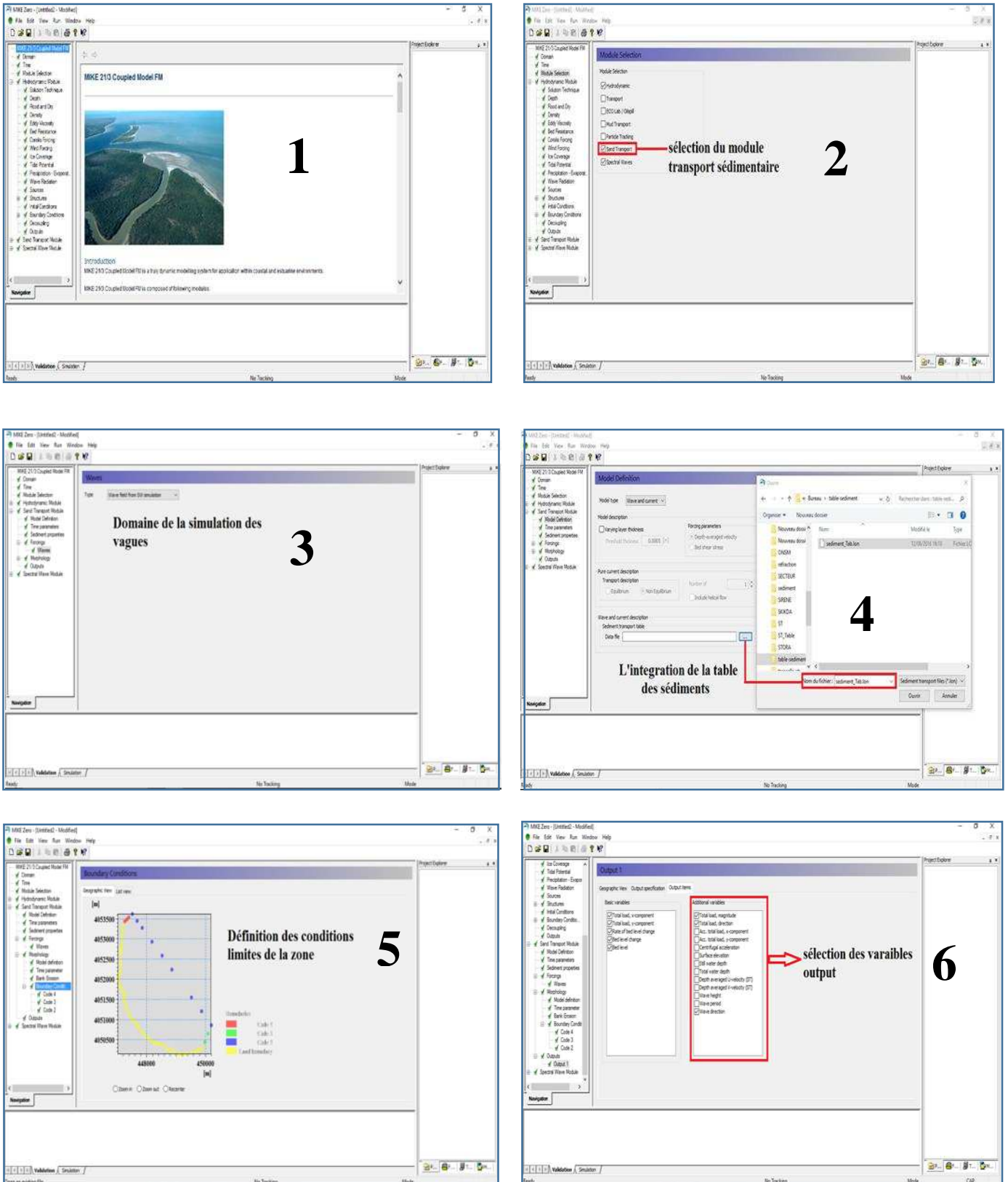


Figure : concept du module Mike 21/3 coupled model FM pour la simulation du transport sédimentaire.

Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses.

Résumé :

Les plages sableuses du littoral algérien constituent un exemple parfait des environnements côtiers où les échanges entre le continent, l'océan et l'atmosphère sont nombreux et dont l'équilibre sédimentaire est contrôlé par la combinaison de facteurs naturels et anthropiques. La présente étude porte sur les cinq grands golfes et baies de l'ensemble de la côte algérienne (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa et Skikda). Douze sites ont été choisis sur ses cinq zones d'études.

Une modélisation numérique expose la démarche méthodologique privilégiée pour étudier la propagation afin de simuler l'évolution du trait de côte. Dans ce mémoire, nous précisons la dynamique sédimentaire au moyen d'une analyse diachronique des variations de la position du rivage, à l'aide des photographies aériennes (missions de 1989 et 2015 pour le golfe de Bejaïa) et des images satellitaires (2004, 2008, 2012 et 2016 pour le reste des zones d'études). Afin d'appréhender l'évolution morphologique de ce système sableux à différentes échelles de temps, l'analyse de la cinématique du trait de côte, met en évidence un découpage spatial des plages, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps. Nous présentons aussi dans ce travail, une méthodologie d'analyse granulométrique de la plage Est de Sidi Fredj ainsi une méthodologie pour la modélisation du transport sédimentaire de la partie sous-marine de cette plage.

Mots clés: Littoral Algérien, Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa, Skikda, Modélisation numérique, Dynamique sédimentaire, Analyse diachronique, Trait de côte, Analyse granulométrique, Transport sédimentaire.

Numerical modeling of kinematics of the coastline and sediment dynamics of sandy beaches.

Abstract:

The sandy beaches of the Algerian coast is a perfect example of coastal environments where numerous exchanges between the continent, the ocean and the atmosphere take place, where and whose sediment balance is controlled by the combination of natural and anthropogenic factors. This study focuses on five large gulfs and bays of the entire Algerian coast (Oran, Bou-Ismaïl, Algiers, Bejaïa and Skikda), from which twelve main places have been selected.

A numerical modeling exposes the instructions that we followed in order to study the propagation that will help us to simulate the evolution of the coastline. In this paper, we specify sediment dynamics using a diachronic analysis of changes in the position of the shore, using aerial photographs (1989 and 2015 missions to the Gulf of Bejaïa) and satellite images (2004, 2008, 2012 and 2016 for the rest of the study areas). To understand the morphological evolution of the sandy system in different time scales, the analysis of kinematics of the coastline shows an evident spatial share of the beaches in the area of erosion and accretion, and allows to visualize morphological changes over time. We also present in this work, a methodology for grain size analysis of the East beach of Sidi Fredj and a methodology for modeling of sediment transport in the underwater part of this range.

Key words: Algerian coast, Oran, Bou-Ismaïl, Algiers, Bejaïa, Skikda, Small numerical modeling, sediment dynamics, Diachronic analysis, Coastline, Grain size analysis, Sediment transport.

النمذجة العددية لكينماتيكا الساحل وديناميات الرواسب للشواطئ الرملية

ملخص:

تعتبر الشواطئ الرملية في الساحل الجزائري خير مثال على البيئات الساحلية أين تحدث العديد من التبادلات بين القارة، المحيطات والغلاف الجوي وأين نجد أن توازن الرواسب تسيطر عليه مجموعة من العوامل الطبيعية والبشرية المنشأ. تركز هذه الدراسة على أكبر خمسة خلجان من الساحل الجزائري بأكمله (وهران، بو اسماعيل، الجزائر بجاية وسكيكدة) ولقد تم اختيار اثني عشر موقع منها. تعرض النمذجة العددية الأسلوب المنهجي المتبع من أجل دراسة الانتشار الذي يساعدنا لمحاكاة تطور الخط الساحلي. في هذه المذكرة، نحدد ديناميكية الرواسب باستخدام تحليل زمني لتغيرات موقع الخط الساحلي، وذلك باستخدام الصور الجوية (بعثات 1989 و2015 لخليج بجاية) وصور الأقمار الصناعية (2004، 2008، 2012 و2016 لبقية مواقع الدراسة). لفهم التطور المورفولوجي لهذا النظام الرملي في جداول زمنية مختلفة، يقوم تحليل الكينماتيكا من الساحل بتقطيع مكاني للشواطئ من حيث التآكل والتراكم وملاحظة التغيرات المورفولوجية مع مرور الوقت. في هذا العمل أيضا، منهجية لتحليل حجم الجسيمات من الشاطئ الشرقي لسيدي فرج ومنهجية لوضع نماذج لنقل الرواسب في الجزء المغمور من هذا النطاق.

الكلمات الرئيسية: الساحل الجزائري، وهران، بو اسماعيل، الجزائر، بجاية، سكيكدة، والنمذجة العددية الصغيرة، وديناميات الرسوبية، التحليل الزمني، الشريط الساحلي، تحليل حجم الجسيمات، نقل الرواسب.